

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Matija Pršir**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Doc. dr.sc. Damir Godec

Student:

Matija Pršir

Zagreb, 2015.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija, navedenu literaturu i pod stručnim vodstvom Doc.dr.sc. Damira Godeca.

Zahvaljujem se mentoru Doc.dr.sc. Damiru Godecu što mi je pružio pomoć kod odabira teme za ovaj diplomski rad, te pruženoj pomoći, savjetima i razumijevanju.

Matija Pršir



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MATIJA PRŠIR**

Mat. br.: 0035175335

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**RAZVOJ PAKOVANJA ZA HRANU I KONSTRUIRANJE  
ODGOVARAJUĆEG KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**DEVELOPMENT OF FOOD PACKAGING AND DESIGN OF  
APPROPRIATE MOULD INJECTION MOULDING**

Opis zadatka:

Suvremena pakovanja za hranu trebaju udovoljiti mnogim zahtjevima kao što su čuvanje namirnica od okoline, ispuštanje tvari iz hrane u okolinu, funkcionalan i privlačan dizajn, a radi u pravilu velikih serija, zahtijeva se i vrlo tanka stijenka pakovanja uz očuvanje dovoljne krutosti i čvrstoće. U industriji proizvodnje polimernih pakovanja, prisutan je trend sve češće primjene injekcijskog prešanja pred toplim oblikovanjem, prije svega radi mogućnosti izrade zahtjevnijih oblika pakovanja i ujednačene debljine stijenke, što rezultira i ujednačenim svojstvima pakovanja. Suvremena pakovanja zahtijevaju posebno konstruirane kalupe za injekcijsko prešanje, koji omogućuju izradu proizvoda tankih stijenki (često ispod 0,5 mm) u vrlo kratkom vremenu (često su ciklusi ispod 5 sekundi).

U okviru rada potrebno je razviti tankostijeno pakovanje za hranu, te metodičkim pristupom konstruirati odgovarajući kalup za injekcijsko prešanje. Također je potrebno odrediti nepotpunu cijenu koštanja pakovanja.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Damir Godec

Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datum obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

# SADRŽAJ

IZJAVA.....	I
SADRŽAJ .....	III
POPIS SLIKA .....	VI
POPIS TABLICA.....	VII
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	XIV
SUMMARY .....	XV
1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ INJEKCIJSKI PREŠANIH POLIMERNIH TVOREVINA .....	2
2.1. Marketinška istraživanja [1].....	3
2.1.1. Istraživanje tržišta .....	3
2.1.2. Planiranje proizvoda.....	4
2.1.3. Tehnologijsko konstruiranje otpreska .....	4
2.1.4. Polazišni postupci konstruiranja.....	4
2.1.5. Vrednovanje tehnike .....	5
2.1.5.1. Središnja faza konstruiranja [1].....	5
2.1.5.2. Oblikovanje .....	7
2.1.5.3. Dimenzioniranje .....	8
2.1.5.4. Izbor materijala .....	8
3. INJEKCIJSKO PREŠANJE .....	9
3.1. Elementi sustava za injekcijsko prešanje .....	10
3.1.1. Ubrizgavalica [4].....	10
3.1.1.1. Jedinica za ubrizgavanje [6] .....	11
3.1.1.2. Jedinica za zatvaranje [6] .....	11
3.1.1.3. Pogonska jedinica.....	12
3.1.1.4. Jedinica za vođenje.....	12
3.1.2. Kalup .....	12
3.1.2.1. Uljevni sustav .....	13

3.1.2.2. Kalupna šupljina.....	17
3.1.2.3. Kućište kalupa .....	18
3.1.2.4. Sustav za izbacivanje .....	19
3.1.2.5. Sustav za ostvarivanje međusobnog dodira nepomičnog i pomičnog dijela kalupa.....	20
3.1.3. Temperiralo .....	20
3.2. Tijek temeljnih faza injekcijskog prešanja.....	21
4. ZAHTJEVI I IZBOR MATERIJALA ZA PLASTIČNU AMBALAŽU.....	25
4.1. Glavni plastični ambalažni materijali.....	26
5. Razvoj polimernog proizvoda za injekcijsko prešanje.....	28
5.1. Razvoj proizvoda.....	28
5.2. Izbor materijala.....	30
6. METODIČKO KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE.....	32
6.2. Konceptijsko oblikovanje kalupa [8].....	36
6.2.1. Načelno određivanje položaja otpreska u kalupu.....	36
6.2.2. Načelno određivanje tipa kućišta .....	36
6.2.3. Načelno određivanje uljevnog sustava i ušća kalupa .....	36
6.2.4. Načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa .....	37
6.2.5. Načelno određivanje sustava za vađenje grozda iz kalupa .....	37
6.2.6. Načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje .....	37
6.2.7. Načelno određivanje sustava za odzračivanje .....	37
6.3. Analitički proračun kalupa za injekcijsko prešanje.....	45
6.3.1. Reološki proračun kalupa za injekcijsko prešanje .....	45
6.3.2. Toplinski proračun kalupa.....	46
6.3.2.1. Vrijeme hlađenja otpreska.....	47
6.3.2.2. Pomoćno vrijeme hlađenja otpreska .....	49
6.3.2.3. Određivanje vremena ciklusa injekcijskog prešanja .....	50
6.3.2.4. Temperature ciklusa injekcijskog prešanja .....	50
6.3.2.5. Proračun svojstava medija za temperiranje.....	52
6.3.2.6. Toplinska bilanca kalupa.....	52
6.3.3. Mehanički proračun kalupa .....	62
6.3.3.1. Visina otvaranja kalupa .....	62

6.3.3.2.Minimalni razmak između steznih ploča ubrizgavalice .....	62
6.3.3.3.Duljina puta izbacivala.....	62
6.3.3.4.Sila vađenja otpreska iz kalupa .....	63
6.3.3.5.Dimenzioniranje sustava za odzračivanje kalupa.....	63
6.3.3.6.Proračun krutosti kalupa okomito na smjer otvaranja.....	64
6.3.3.7.Proračun debljine temeljne ploče .....	64
7. PRORAČUN NEPOTPUNE CIJENE KOŠTANJA OTPRESKA .....	65
7.1.Struktura nepotpune cijene proizvoda [14] .....	65
7.2. Određivanje cijene materijala za jedan otpresak .....	67
7.3. Određivanje cijene ubrizgavalice za jedan otpresak .....	68
7.4. Troškovi radne snage za jedan otpresak.....	68
7.5. Određivanje cijene koštanja otpreska.....	68
8. ZAKLJUČAK .....	69
9. LITERATURA.....	70
10.PRILOZI.....	71

## POPIS SLIKA

Slika 2.1.	Shema razvoja injekcijski prešanih polimernih tvorevina .....	2
Slika 2.2.	Polazišni postupci tehnologijskog konstruiranja otpreska .....	5
Slika 2.3.	Glavne aktivnosti središnje faze konstruiranja .....	6
Slika 2.4.	Središnja faza tehnologijskog konstruiranja otpreska .....	6
Slika 3.1.	Sustav za injekcijsko prešanje .....	10
Slika 3.2.	Kalup za injekcijsko prešanje .....	12
Slika 3.3.	Čvrsti uljevni sustav .....	13
Slika 3.4.	Vrući blok s mlaznicama .....	16
Slika 3.5.	Elementi kućišta kalupa .....	19
Slika 3.6.	Plastificiranje .....	21
Slika 3.7.	Ubrizgavanje i djelovanje naknadnog tlaka .....	22
Slika 3.8.	Hlađenje i vađenje otpreska iz kalupa .....	22
Slika 3.9.	Tijek tlaka u $p$ - $v$ - $T$ dijagramu .....	23
Slika 4.1.	Udjeli pojedinih vrsta polimera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji 2010.....	26
Slika 4.2.	Udjeli pojedinih vrsta širokoprimjenjivih plastomera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji 2010.....	26
Slika 5.1.	Posuda sa odgovarajućim poklopcem .....	29
Slika 5.2.	Poklopac .....	29
Slika 5.3.	Posuda .....	29
Slika 5.4.	Presjek posude sa odgovarajućim poklopcem .....	30
Slika 6.1.	Temeljne faze konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje .....	32
Slika 6.2.	Vrijeme punjenja kalupne šupljine .....	33
Slika 6.3.	Vjerojatnost popunjavanja kalupne šupljine .....	33
Slika 6.4.	Kvaliteta punjenja .....	34
Slika 6.5.	Tlak u kalupnoj šupljini .....	34
Slika 6.6.	Temperatura čela taljevine .....	35
Slika 6.7.	Prosječna temepratura .....	35
Slika 6.8.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje položaja otpreska .....	38
Slika 6.9.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje tipa kućišta kalupa .....	39
Slika 6.10.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje vrste uljevnog sustava i ušća kalupa .....	40
Slika 6.11.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa .....	41
Slika 6.12.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vađenje grozda iz kalupa .....	42
Slika 6.13.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje elemenata kalupa .....	43
Slika 6.14.	Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za odzračivanje kalupa .....	44
Slika 6.15.	Dijagram $p$ - $v$ - $T$ za Borealis BH345MO .....	45
Slika 6.16.	Toplinska bilanca kalupa .....	53



## POPIS TABLICA

Tablica 3.1.	Vrste ušća i prednosti i nedostaci .....	14
Tablica 3.2.	Sistematizacija vrućih uljevnih sustava .....	15
Tablica 3.3.	Prednosti i nedostaci vrućih uljevnih sustava .....	16
Tablica 3.4.	Temeljni slučajevi rasporeda kalupnih šupljina .....	17
Tablica 4.1.	Oznake i primjena najprimjenjivijih polimera za ambalažu .....	27
Tablica 5.1.	Mehanička svojstva BH345MO .....	30
Tablica 5.2.	Preradbena svojstva BH345MO .....	31
Tablica 6.1.	Koeficijent jednadžbe pravca za $a_{ef} = f(T_K)$ .....	48
Tablica 6.2.	Koeficijent oblika i unutrašnjosti za različite oblike otpreska .....	48
Tablica 7.1.	Osnovni podaci i cijene .....	65
Tablica 7.2.	Standardni elementi kalupa .....	66

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Veličina	Jedinica
$A_1$	- površina jedne stranice kalupa	$m^2$
$A_{KS}$	- tlocrtna površina steznih ploča ubrizgavalice	$m^2$
$A_{KT}$	- površina kanala za temperiranje	$m^2$
$A_O$	- površina elemenata kalupne šupljine u dodiru s otpreskom	$m^2$
$A_i$	- poprečni presjek izbacivala	$m^2$
$A_{kš}$	- površina projekcije kalupne šupljine u smjeru otvaranja kalupa	$m^2$
$A_u$	- površina poprečnog presjeka ušća	$m^2$
$a$	- razmak između središnje osi gornjih vodilica i vodoravne osi ubrizgavalice	m
$a_1$	- koeficijent	$m^2 s^{-1} K^{-1}$
$a_2$	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	-
$a_3$	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	-
$a_{ef}$	- efektivna toplinska difuznost	$m^2/s$
$a_w$	- toplinska difuznost vode	$m^2/s$
$H_{KS}$	- širina steznih ploča kalupa	m
$B_K$	- širina kalupnih ploča	m
$b$	- razmak između kanala za temperiranje	m
$b_1$	- koeficijent	$m^2 s^{-1} K^{-1}$
$b_2$	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	-
$b_3$	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	-
$b_K$	- toplinska prodornost materijala elemenata kalupa koji oblikuju kalupnu šupljinu	$Ws^{1/2} m^{-2} K^{-1}$
$b_P$	- toplinska prodornost plastomerne taljevine	$Ws^{1/2} m^{-2} K^{-1}$
$b_o$	- širina otpreska	m
$b_{tp}$	- razmak između odstoynih letvi kalupa	m
$b_s$	- širina segmenta	m
$C_Z$	- zračivost apsolutno crnog tijela	$W/m^2 K$
$C_{izi}$	- prosječna cijena radnog sata obradbe	kn
$C_m$	- ukupna jedinična cijena materijala	kn/kg
$C_{m,ser}$	- ukupna cijena materijala za proizvodnu seriju	kn
$C_{mo}$	- cijena materijala za jedan otpresak	kn
$C_{mPS}$	- ukupna cijena materijala za probnu seriju	kn
$C_o$	- konačna, nepotpuna cijena koštanja po otpresku	kn
$C_{o,ser}$	- proizvodna cijena jednog otpreska proizvodne serije	kn
$C_{o,serOD}$	- troškovi održavanja za jedan otpresak	kn
$C_{om}$	- jedinična cijena osnovnog materijala	kn/kg
$C_{oPR}$	- prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije	kn
$C_{oPS}$	- proizvodna cijena jednog otpreska probne serije	kn
$C_r$	- jedinična cijena regenerata	kn/kg
$C_{r,ser}$	- ukupni trošak rada za proizvodnu seriju	kn
$C_{rki}$	- cijena radnog sata za pojedinu fazu konstruiranja	kn
$C_{ro}$	- trošak rada za jedan otpresak	kn

$C_{rPS}$	- ukupni trošak rada za probnu seriju	kn
$C_{rs}$	- cijena radnog sata radnika	kn/h
$C_{ru}$	- cijena radnog sata ubrizgavalice	kn/h
$C_{s,ser}$	- cijena ubrizgavalice za proizvodnu seriju	kn
$C_{sdi}$	- cijena pojedinog standardnog elementa	kn
$C_{so}$	- cijena ubrizgavalice za jedan otpresak	kn
$C_{sPS}$	- cijena ubrizgavalice za probnu seriju	kn
$C_z$	- zračivost apsolutno crnog tijela	W/m <sup>2</sup> K
$c_K$	- specifični toplinski kapacitet materijala kalupnih ploča	J/kgK
$c_P$	- specifični toplinski kapacitet polimera	J/kgK
$c_w$	- specifični toplinski kapacitet vode	J/kgK
$D_h$	- hidraulički promjer segmenta uljevnog sustava	m
$d$	- promjer segmenta uljevnog sustava	m
$d_{uš}$	- srednji promjer ušća	m
$d_m$	- srednji promjer vodeće plohe	m
$d_n$	- promjer mlaznice	m
$d_{pv}$	- promjer pužnog vijka	m
$d_{uk}$	- promjer uljevnog kanala	m
$d_{vj}$	- vanjski promjer jezgre	m
$E_r$	- modul rastezljivosti	N/m <sup>2</sup>
$E_s$	- modul savitljivosti	N/m <sup>2</sup>
$F_2$	- sila okomita na $F_1$	N
$F_O$	- sila otvaranja kalupa	N
$F_d$	- sila držanja kalupa	N
$F_t$	- sila trenja po obodu jezgre	N
$F_u$	- sila ubrizgavanja	N
$f$	- faktor tečenja materijala	-
$f_1$	- progib dna ploče	m
$f_2$	- progib stranice kalupne ploče	m
$f_{max}$	- maksimalni progib stijenke kalupne šupljine	m
$f_{tp}$	- dopušteni progib temeljne ploče	m
$G$	- modul smičnosti materijala stijenke kalupne šupljine	N/m <sup>2</sup>
$G_{OR}$	- organizacijski gubici prototipne serije	h
$H_K$	- visina kalupnih ploča	m
$H_{Umax}$	- maksimalni razmak steznih ploča ubrizgavalice	m
$h$	- izmjera kalupne šupljine na kojoj djeluje tlak u kalupnoj šupljini	m
$h_1$	- specifična entalpija pri prosječnoj temperaturi otpreska u trenutku njegova napuštanja kalupa	J/kg
$h_2$	- specifična entalpija pri temperaturi i tlaku preradbe	J/kg
$h_{OK}$	- potrebno otvaranje kalupa	m
$h_{Umin}$	- minimalni potrebni razmak steznih ploča ubrizgavalice	m
$h_d$	- dodatno otvaranje kalupa	m
$h_{di}$	- dopunski (sigurnosni) hod izbacivala	m
$h_g$	- visina grozda	m
$h_i$	- duljina puta izbacivala	m

$h_o$	- visina otpreska	m
$h_{op}$	- visina otpreska u pomičnom dijelu kalupa	m
$h_{tp}$	- debljina (visina) temeljne ploče	m
$h_u$	- visina uljevka	m
$K_O$	- koeficijent oblika otpreska	-
$K_{OT}$	- konstanta plastomernog materijala	kg/m s <sup>1-m</sup>
$K_U$	- koeficijent unutrašnjosti otpreska	-
$L_K$	- duljina kalupa	m
$L_{KS}$	- duljina stezne ploče kalupa	m
$L_s$	- duljina segmenta	m
$l_{KT}$	- duljina kanala za temperiranje	m
$l_{uš}$	- duljina ušća	m
$l_j$	- duljina jezgre	m
$l_n$	- duljina mlaznice	m
$l_s$	- srednji put tečenja	m
$l_{uk}$	- duljina uljevnog kanala	m
$l_{us}$	- duljina segmenta uljevnog sustava	m
$l_{tp}$	- duljina temeljne ploče	m
$m$	- eksponent tečenja plastomerne taljevine	-
$m_K$	- masa kalupa	kg
$m_g$	- masa grozda	kg
$m_o$	- masa otpreska	kg
$m_{us}$	- masa uljevnog sustava	kg
$n_K$	- broj kalupnih šupljina	-
$n_{KT}$	- broj kanala za temperiranje	-
$n_{KU}$	- broj umetaka u kalupnoj šupljini	-
$n_{izi}$	- broj sati pojedine operacije obradbe	h
$n_r$	- broj radnika	-
$n_{rki}$	- broj radnih sati za pojedinu fazu konstruiranja	h
$n_{sdi}$	- količina pojedinog standardnog elementa	kom
$n_{ser}$	- veličina serije	kom
$n_{serPS}$	- veličina probne serije	kom
$n_{uk}$	- ukupna količina otpresaka	kom
$P_{Pef}$	- efektivno potrebna snaga pumpe	W
$P_{VS}$	- instalirana snaga vrućeg uljevnog sustava	W
$P_g$	- snaga (učin) grijanja	W
$P_h$	- snaga (učin) hlađenja	W
$P_r$	- Prandtlova značajka	-
$P_{rw}$	- Prandtlova značajka vode	-
$p_K$	- tlak u kalupnoj šupljini	Pa
$p_{Kx}$	- pritisak u kalupnoj šupljini u smjeru otvaranja kalupa	N/m <sup>2</sup>
$p_o$	- okolišni tlak	Pa
$p_R$	- predtlak u kalupnoj šupljini	N/m <sup>2</sup>
$p_T$	- tlak plastomerne taljevine	N/m <sup>2</sup>
$p_u$	- pritisak ubrizgavanja	N/m <sup>2</sup>

$Q_K$	- težina kalupa	N
$Q_n$	- veličina serije otpresaka	kom
$q$	- prosječni toplinski tok	W
$q_w$	- protok vode za temperiranje	m <sup>3</sup> /s
$q_P$	- količina prerađenog plastomernog materijala	m <sup>3</sup> /s
$q_{max}$	- maksimalni toplinski tok između kanala za temperiranje i otpreska	W
$q_{min}$	- minimalni toplinski tok između kanala za temperiranje i otpreska	W
$q_v$	- obujamni protok plastomerne taljevine	m <sup>3</sup> /s
$Re$	- Reynoldsov broj	-
$Re_w$	- Reynoldsov broj vode	-
$S_L$	- skupljanje	%
$S_V$	- stezanje	%
$S_{ot}$	- ploština otpres(a)ka	m <sup>2</sup>
$S_u$	- predvidivi dio škarta	%
$S_{us}$	- ploština uljevnog sustava	m <sup>2</sup>
$s$	- faktor sigurnosti	-
$s_I$	- debljina izolacijske ploče	m
$s_K$	- debljina stijenke kalupne šupljine	m
$s_o$	- debljina stijenke otpreska	m
$s_p$	- debljina stijenke kalupne ploče	m
$T_{oser}$	- troškovi održavanja kalupa za seriju	kn
$T_D$	- dodirna temperatura	K
$T_K$	- temperatura stijenke kalupne šupljine	K
$T_{KT}$	- temperatura stijenke kanala za temperiranje	K
$T_M$	- temperatura medija za temperiranje	K
$T_O$	- temperatura okoline	K
$T_{OK}$	- temperatura otvaranja kalupa	K
$T_P$	- temperatura podešavanja kalupa	K
$T_{PO}$	- temperatura postojanosti oblika	K
$T_S$	- skrutište plastomera	K
$T_T$	- temperatura plastomerne taljevine	K
$T_{UK}$	- ukupni troškovi izradbe kalupa	kn
$TVK$	- temperatura vanjske stijenke kalupa	K
$T_g$	- staklište	K
$T_{iz}$	- ukupna cijena obradbe kalupa	kn
$Tom$	- ukupna cijena osnovnog materijala nestandardnih elemenata kalupa	kn
$Tsd$	- ukupna cijena standardnih elemenata kalupa	kn
$T_{serOD}$	- predviđeni troškovi održavanja kalupa za proizvodnu seriju	kn
$t_c$	- vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja	s
$t_{\xi}$	- vrijeme čišćenja kalupa	s
$t_h$	- vrijeme hlađenja otpreska	s
$t_{id}$	- dopunsko vrijeme vađenja otpreska	s
$t_{mp}$	- vrijeme približavanja mlaznice	s
$t_{mr}$	- vrijeme vraćanja mlaznice ubrizgavalice u početni položaj	s
$t_{np}$	- vrijeme djelovanja naknadnog pritiska u kalupnoj šupljini	s

$t_{os}$	- strojno vrijeme otvaranja kalupa	s
$t_p$	- pomoćno vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja	s
$\bar{t}_p$	- srednje vrijeme između dva zastoja	h
$t_{pz}$	- pripremno – završno vrijeme	h
$t_u$	- vrijeme ubrizgavanja	s
$t_z$	- vrijeme zagrijavanja kalupa	s
$t_{zs}$	- strojno vrijeme zatvaranja kalupa	s
$V_o$	- obujam otpreska	m <sup>3</sup>
$V_u$	- obujam ubrizgavanja	m <sup>3</sup>
$v$	- brzina tečenja plastomerne taljevine	m/s
$v$	- srednja brzina tečenja čela taljevine	m/s
$v_u$	- brzina ubrizgavanja	m/s
$x_{KT}$	- faktor površine kanala za temperiranje	-
$x_k$	- neimenovani broj	-
$x_s$	- faktor simetričnosti izmjene topline	-
$\alpha_M$	- toplinska prijelaznost medija za temperiranje	W/m <sup>2</sup> K
$\alpha_{St*}$	- korigirani koeficijent toplinske prijelaznosti (obuhvaća zračenje i konvekciju)	W/m <sup>2</sup> K
$\alpha_n$	- kut uspona navoja	°
$\alpha_{vp}$	- kut vodećeg utora	°
$\beta$	- temperaturni koeficijent	W/m <sup>2</sup> K
$\beta_{V*}$	- korigirani faktor proporcionalnosti	W/m <sup>2</sup> K
$\beta_{max}$	- maksimalni kut izoterma	°
$\beta_{min}$	- minimalni kut izoterma	°
$\Delta T_{MK}$	- temperaturni gradijent	K
$\Delta p_{u\check{s}}$	- pad pritiska u ušću	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_n$	- pad pritiska u mlaznici ubrizgavalice	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_{us}$	- pad pritiska u uljevnom sustavu	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_{ulj}$	- pad pritiska u uljevku	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_{uk}$	- pad pritiska u uljevnom kanalu	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_s$	- pad pritiska u segmentu kalupne šupljine	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_{umin}$	- minimalni potrebni pritisak ubrizgavanja	N/m <sup>2</sup>
$\Delta p_{su}$	- ukupni pad pritiska u uljevnom sustavu i kalupnoj šupljini	N/m <sup>2</sup>
$\varepsilon_{dop}$	- dopuštena deformacija (izvijanje) izbacivala	%
$\varepsilon_{krit}$	- kritična deformacija izbacivala	%
$\varepsilon_z$	- sposobnost zračenja kalupnih ploča	-
$\phi_M$	- toplina izmijenjena s medijem za temperiranje u jedinici vremena	W
$\phi_O$	- toplina izmijenjena s okolinom u jedinici vremena	W
$\phi_P$	- toplina koju plastomer preda kalupu u jedinici vremena	W
$\phi_{PD}$	- toplinski tok dovođenja topline	W
$\phi_{Slj}$	- toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz sljubnicu kalupa u jedinici vremena	W
$\phi_{St}$	- toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz stranice kalupa u jedinici vremena	W
$\phi_V$	- toplina izmijenjena provođenjem kroz nosače kalupa ubrizgavalice u	W

	jedinici vremena	
$\dot{\gamma}$	- smična brzina plastomerne taljevine	$s^{-1}$
$\eta$	- smična viskoznost	Pas
$\eta_{VS}$	- korisnost vrućeg uljevnog sustava	-
$\eta_p$	- korisnost pumpe	-
$\varphi$	- koeficijent oblika segmenta uljevnog sustava	-
$\lambda_I$	- toplinska provodnost izolacijske ploče	W/mK
$\lambda_K$	- toplinska provodnost materijala kalupa	W/mK
$\lambda_p$	- toplinska provodnost polimera	W/mK
$\lambda_i$	- toplinska provodnost i-tog sloja kalupa	W/mK
$\lambda_w$	- toplinska provodnost vode	W/mK
$\mu$	- faktor trenja između plastomernog materijala i elemenata kalupne šupljine	-
$\mu_p$	- pouzdanost postupka	%
$\nu$	- Poissonov faktor	-
$\nu_w$	- kinematička viskoznost vode za temperiranje	$m^2/s$
$\rho$	- kut trenja	°
$\rho_A$	- gustoća komponente mješavine medija za temperiranje	$kg/m^3$
$\rho_K$	- gustoća materijala kalupnih ploča	$kg/m^3$
$\rho_M$	- gustoća medija za temperiranje	$kg/m^3$
$\rho_T$	- gustoća polimerne taljevine	$kg/m^3$
$\rho_w$	- gustoća vode	$kg/m^3$
$\sigma_{dop}$	- dopušteno savojno naprezanje kalupnih ploča	$N/m^2$
$\tau_{dop}$	- dopušteno smično naprezanje kalupnih ploča	$N/m^2$
$\xi$	- otpor tečenju u kanalu	-

## SAŽETAK

U ovome radu je opisan koncept razvoja kalupa za injekcijsko prešanje sa vrućim uljevnim sustavom, te sve faze njegova razvoja od konceptijskog oblikovanja, proračuna do završnih aktivnosti konstruiranja. Provedeni su reološki, toplinski i mehanički proračuni kalupa te proračun koštanja zadanog otpreska i simulacija punjenja kalupne šupljine. U radu je i prikazana konstrukcija kalupa modelirana u 3D računalnom programu.

Ključne riječi: injekcijsko prešanje, metodičko konstruiranje, razvoj kalupa, razvoj polimernog proizvoda, vrući uljevni sustav



## **SUMMARY**

In this thesis the concept of mold development for the injection molding process with hot runner system is described, with all of its phases. From its conceptual design and calculations, to its final design. Rheological, thermal and mechanical mold calculations were conducted along with the budget cost for the given molded part. The simulation of filling the mold cavity was also conducted. The thesis also shows the design of the mold in a 3D modeling computer program.

Key words: development of mold, development of polymer product, hot runner system, injection molding, methodical design

## **1. UVOD**

Kod preradbe polimernih tvorevina injekcijsko prešanje je najvažniji i glavni postupak ciklične preradbe polimera. Unapređenjem tog procesa dobivaju se ekonomski isplativiji i sve kvalitetniji otpresci kompliciranih oblika, svih veličina sa sve manje škrti. Glavni dio sustava za injekcijsko prešanje je kalup koji oblikuje taljevinu u konačan oblik.

S obzirom na velike troškove i složenost izrade kalupa, sam razvoj kalupa potrebno je detaljno i kvalitetno isplanirati i razraditi. Poznavanjem funkcija i značenja svakog elementa sustava može se na kvalitetan način pristupiti metodičkom konstruiranju kalupa i time skratiti vrijeme izrade sa što manje grešaka.

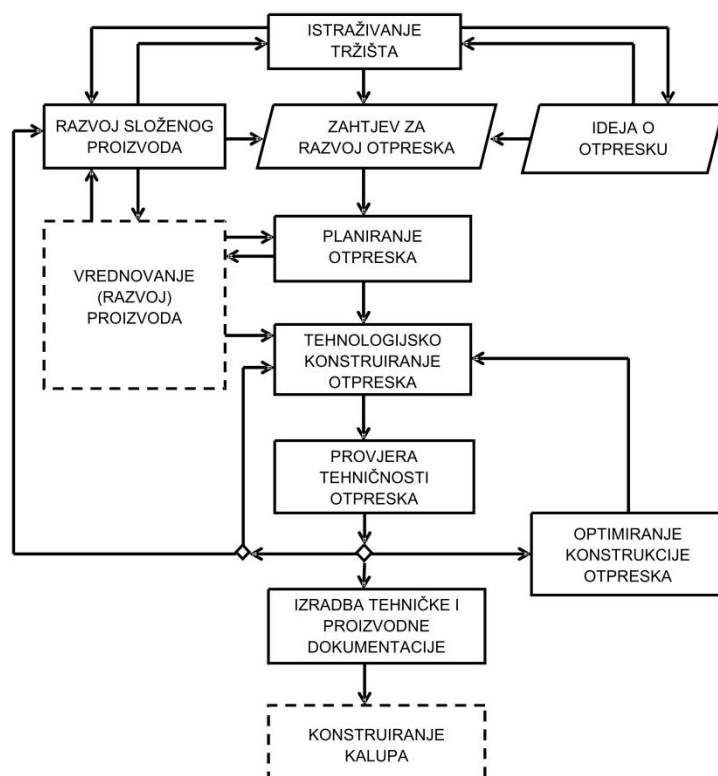
Predmet ovog rada je razvoj pakovanja za hranu te konstrukcija kalupa za sam taj proizvod. U radu su provedeni reološki, toplinski i mehanički proračun kalupa te je provedena simulacija popunjavanja kalupne šupljine. Kod konstrukcije su korišteni Hasco standardni dijelovi gdje je to moguće.

## 2. RAZVOJ INJEKCIJSKI PREŠANIH POLIMERNIH TVOREVINA

Općenito razvoj započinje istraživanjem tržišta. Na temelju marketinškog istraživanja, studije trenda, rezultata istraživanja na području proizvodnih tehnika itd. definira se zadatak. Tim planera iz različitih službi poduzeća (upravitelji, prodajna služba, služba razvoja, konstrukcija i proizvodnja) rade na izboru razvojnih zadataka i njegovom definiranju, koje još ovise i o položaju poduzeća na tržištu, željama kupca, troškovima, kapacitetu poduzeća, rokovima proizvodnje, riziku itd.

Razvoj otpreska može nastati tijekom rada na razvoju složenog proizvoda, ako je potreban radi njegove ugradnje u taj složeni proizvod. Ali može nastati i na temelju ideje o otpresku kao samostalnom proizvodu. Te ideje mogu nastati u samom poduzeću u kojem će se on proizvoditi, samoinicijativom razvojne ili komercijalne službe, ili izvan poduzeća na temelju istraživanja tržišta ili ideja pojedinaca.

Planiranje razvoja polimernih tvorevina razmatra gospodarsko - tehničke, organizacijske i ostale potrebne uvjete za razvoj otpreska u određenom proizvodnom sustavu (slika 2.1). [1]



Slika 2.1. Shema razvoja injekcijski prešanih polimernih tvorevina [1]

Na slici 2.1 uočava se više shematski ucrtanih veza između pojedinih blokova (ponajviše unutar faze konstruiranja kalupa) koje predaju kompliciranost i isprepletenost (kompleksnost) pojedinih faza tijekom razvoja otpreska, odnosno njihove interakcije. Te veze upućuju na brojna ponavljanja, vraćanja unatrag i istovremeno razmatranje različitih aktivnosti. Ove veze su samo načelno ucrtane jer postoje i kompleksne veze i unutar blokova koje se razmatra. [1]

## **2.1. Marketinška istraživanja [1]**

Marketing je stručna disciplina kojoj je temeljna zadaća utvrđivanje društvenih potreba i traženje znanstvenih, tehničkih, ekonomskih, proizvodnih i tržišnih putova njihova zadovoljavanja. Tada se marketing i industrijsko oblikovanje proizvoda komplementarno nadopunjuju kao dvije svjesne i svrsishodne ljudske djelatnosti koje teže istom cilju. Kod planiranja i razvoja proizvoda marketing zauzima završnu aktivnost jer je upravo pomoću proizvoda, asortimana i usluge moguće posredno ili neposredno zadovoljiti te potrebe.

Temeljne djelatnosti marketinga po Rodgeru su:

- marketinške informacije i istraživanje tržišta i konačnih korisnika,
- planiranje proizvoda i asortimana,
- prodaja i distribucija,
- ekonomska propaganda i unapređenje prodaje.

### **2.1.1. Istraživanje tržišta**

Istraživanje tržišta je marketinška funkcija u kojoj se osiguravaju potrebne informacije za donošenje poslovnih odluka. Sustavnim prikupljanjem i analizom tržišta, njegovim bivšim trendovima i budućim potencijalima, istraživanje se odnosi na sve dijelove tržišta na kojima poduzeće djeluje, a provodi se sa svrhom prilagođavanja proizvoda i usluga, strategije nastupa na tržištu, proizvodnih i uslužnih kapaciteta zahtjevima potrošača.

### **2.1.2. Planiranje proizvoda**

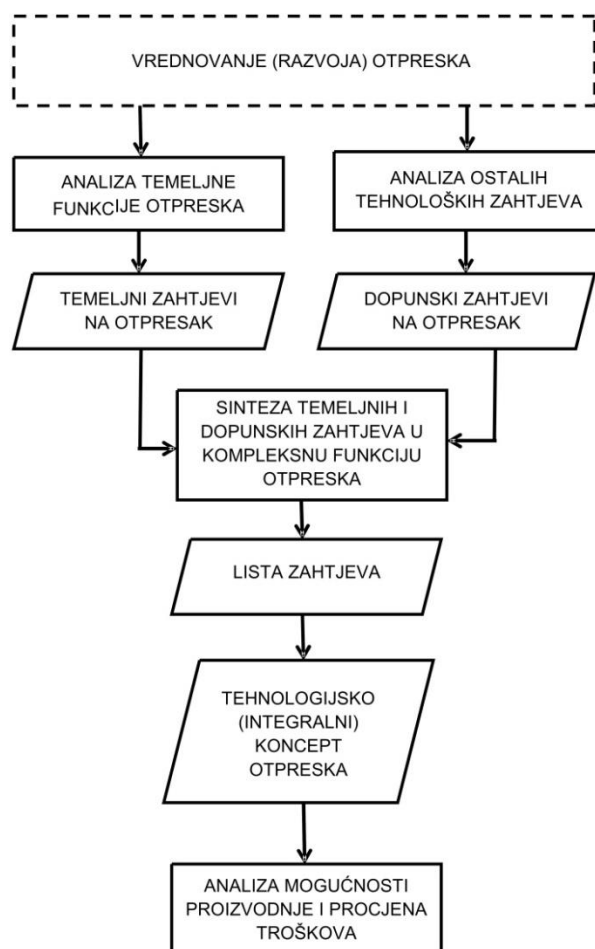
Planiranje proizvoda se javlja kao operativna znanstveno – metodološka disciplina radi smanjivanja rizika investicijskih ulaganja u razvoj proizvoda i njegovu proizvodnju. To je pokušaj znanstveno i metodološki utemeljenog dobivanja odgovora na pitanje lansiranja ili plasiranja proizvoda na tržištu i njegova tržišnog vijeka. Jedan od vitalnih zadataka planiranja proizvoda je smanjivanje nesrazmjera između broja inovacija i komercijalnih proizvoda.

### **2.1.3. Tehnologijsko konstruiranje otpreska**

Kod razvoja injekcijski prešanog otpreska, s tehničkog stajališta, konstruiranje zauzima središnje mjesto. Kod klasičnog pristupa konstruiranja uglavnom se razmatra funkcija proizvoda, te se konstruira na temelju potrebe za zadovoljavanjem njegove temeljne, tehničke funkcije. Često se kod klasičnog konstruiranja zanemaruju proizvodnja i uporaba tvorevina, koje predstavljaju konstrukcijski zadatak. Zbog posebnosti polimernih materijala, kojih uporabna svojstva ovise izravno o načinu pravljenja materijala i postupka pravljenja tvorevine, takav pristup ne odgovara suvremenom shvaćanju razvoja proizvoda. Njime su uvelike zanemareni proizvodnja u upotreba proizvoda. [1]

### **2.1.4. Polazišni postupci konstruiranja**

Na slici 2.2 vidimo da je prvi korak u toj fazi analiza funkcija koje otpresak mora zadovoljiti i na temelju takve analize postavljanje odgovarajućih zahtjeva. Ti zahtjevi mogu se podijeliti na temeljne tehničke i ostale, dopunske zahtjeve. Pri razvoju novog proizvoda postavljaju se svi potrebni zahtjevi, a posebno analiza netehničkih ciljeva. Inženjeri ne mogu više ignorirati odgovornost od gospodarski i društveno loših proizvoda, koji su posljedica nedovoljnog i lošeg ispunjavanja tih zahtjeva. Već moraju formirati listu kompleksnih funkcija u sintezi temeljnih i dopunskih zahtjeva pri razvoju proizvoda. Rezultat tih aktivnosti jest stvaranje tehnologijskog (integralnog) koncepta otpreska, koji će udovoljiti svim potrebnim tehnologijskim zadacima. Nakon toga u toj fazi konstruiranja imamo potrebu analizirati mogućnost i troškove izrade. [1]



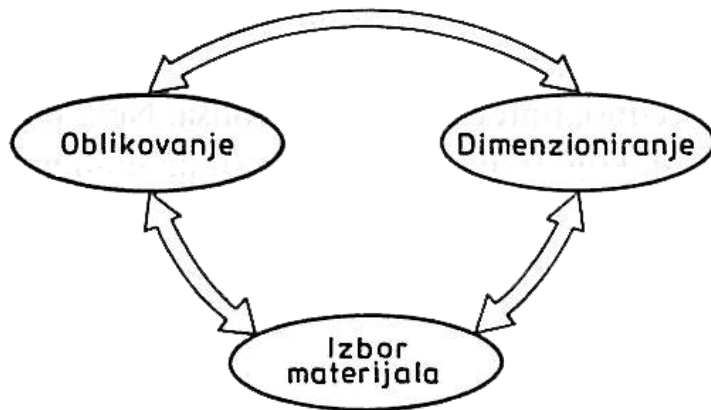
Slika 2.2. Polazišni postupci tehnologijskog konstruiranja otpreska [1]

### 2.1.5. Vrednovanje tehnike

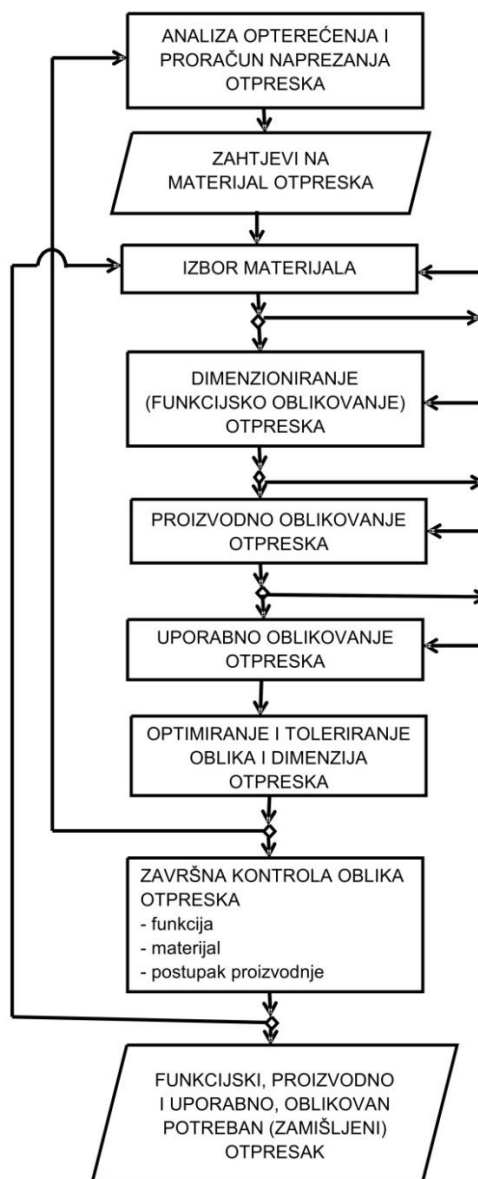
Pri postavljanju svih potrebnih zahtjeva u vezi s proizvodom, nužno je vrednovati razvoj proizvoda odnosno sam proizvod koji se vrednuje s obzirom na postizanje određenih ciljeva koji su funkcionalnost proizvoda, gospodarstvenost, mogućnost recikliranja, razvoj osobnosti i kvalitete za društvo, zdravlje, etičnost, ekološkičnost itd. [1]

#### 2.1.5.1. Središnja faza konstruiranja [1]

Središnju fazu konstruiranja, koju često se naziva i projektnom fazom najviše karakterizira visoka međusobna povezanost triju glavnih aktivnosti: oblikovanje, dimenzioniranje i izbor materijala (slika 2.3). Središnja faza konstruiranja prikazana je na slici 2.4.



Slika 2.3. Glavne aktivnosti središnje faze konstruiranja [1]



Slika 2.4. Središnja faza tehnologijskog konstruiranja otpreska [1]

#### 2.1.5.2. Oblikovanje

Za razliku od klasičnog koncepta konstruiranja ovdje se konstrukcijsko oblikovanje javlja kao nadređeni pojam, koji objedinjuje nekoliko pojmova. Na temelju sustavnosne analize injekcijskog prešanja polimera konstrukcijski oblik otpreska ne ovisi samo u njegovoj funkciji, već i o uvjetima upotrebe, a posebice o uvjetima proizvodnje. To je jedno od bitnih obilježja i specifičnosti polimernih proizvoda. S obzirom na to konstrukcijsko oblikovanje sadrži funkcijsko, proizvodno i uporabno oblikovanje.

Proizvodno oblikovanje jest oblikovanje s obzirom na predviđene postupke proizvodnje (u ovom radu oblikovanje s obzirom na postupak injekcijskog prešanja). Na temelju toga treba se držati pravila oblikovanja s obzirom na postupak injekcijskog prešanja koja su:

- postići što tanje stijenke,
- rebrasta ukrućenja oblikovati s obzirom na zahtjeve postupka preradbe,
- izbjegavati veće planplanarne površine,
- izbjegavati oštre rubove i bridove,
- izbjegavati nagle prijelaze u debljinama stijenki,
- izbjegavanje gomilanje masa,
- osigurati potrebna skošenja u smjeru vađenja otpreska iz kalupne šupljine,
- izbjegavati podreze,
- provjeriti jesu li pri oblikovanju iskorištene sve mogućnosti koje pruža postupak preradbe.

Uporabno oblikovanje je oblikovanje s obzirom na upotrebu, neki od zahtjeva kod uporabnog oblikovanja otpreska su: estetsko oblikovanje, ergonomijsko oblikovanje, oblikovanje s obzirom na mogućnost ispitivanja, oblikovanje s obzirom na mogućnost održavanja, oblikovanje s obzirom na sigurnost, oblikovanje s obzirom na pouzdanost i trajnost.



#### *2.1.5.3. Dimenzioniranje*

Dimenzioniranje općenito je postupak koji povezuje optimalno iskorištavanje materijala, ograničenjima na konstrukcijski oblik proizvoda pri djelovanju opterećenja. Kod dimenzioniranja konstrukcijskih polimernih proizvoda postoje znatna ograničenja. Značajno je otežano prenošenje znanstvenih, teorijskih spoznaja na realne konstrukcije, što je posljedica nedostupnosti podataka o svojstvima polimera za različite uvjete opterećenja, nedovoljnog poznavanja ponašanja pri deformiranju i nesigurnost pri utvrđivanju dopuštenih opterećenja ili deformacija. Dimenzioniranje kod polimernih tvorevina ponajviše ovisi o vrsti materijala koji moraju zadovoljiti neke od najčešćih kriterija, a to su: krhki lom, žilavi lom, granica tečenja, kritična deformacija i potrebni stupanj deformacija.

Dimenzioniranje proizvoda se može provesti na tri temeljna načina, ovisno o provođenju naprezanja i deformacija i to: iskustveno (empirijsko), konvencionalno (analitički) i numeričkim metodama.

#### *2.1.5.4. Izbor materijala*

Na temelju opterećenja i odgovarajućih proračuna naprezanja i deformacija proizlaze zahtjevi u vezi s materijalom otpreska. Zahtjevi u vezi s uporabnim svojstvima proizvoda (mehanička, toplinska, električna i ostala) postavljaju se u obliku diskretnih i funkcionalnih vrijednosti. Ali s druge strane moraju se i postaviti zahtjevi materijala koja su nužna zbog proizvodnosti otpreska, te zbog njegovog ponašanja u tijeku procesa injekcijskog prešanja.

### 3. INJEKCIJSKO PREŠANJE

Injekcijsko prešanje je najvažniji ciklički postupak preradbe polimera, a prema dostignutoj razini i najusavršeniji. Općenito, injekcijsko prešanje plastomera definira se kao ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem plastomerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak postaje polireakcijom i/ili umreživanjem, geliranjem i/ili hlađenjem podobna za vađenje iz kalupne šupljine. Injekcijskim prešanjem se mogu preraditi svi polimeri: duromeri, elastomeri, elastoplastomeri, a najraširenije je prerada plastomernih taljevina iz razloga što je moguće izraditi proizvode najrazličitije namjene, složenosti i veličine. Injekcijsko prešanje pripada postupcima praoblikovanja ili pravljenja čvrstog tijela od bezobličnih tvari, pri čemu postiže povezanost među česticama te se stvara građa materijala [2,3].

Injekcijsko prešanje prigodno je za proizvodnju vrlo kompliciranih otpresaka visoke dimenzijske stabilnosti. Zbog visokog stupnja automatiziranosti, moguća je neprekinuta proizvodnja dvadeset i četiri sata na dan, sedam dana u tjednu. Moguće je proizvesti otpreske u više boja, kombinacije krutog i savitljivog dijela otpreska, integralne pjenaste tvorevine itd. [2]

Kako se svi postupci preradbe polimera temelje na zagrijavanju i hlađenju polimernog materijala, za uspješno injekcijsko prešanje potrebno je znati reološka i toplinska svojstva polimera, utjecaj parametara preradbe na ta svojstva te utjecaj posljedica promjenjivih svojstava na tijek tog procesa. Poznato je da plastomerni materijali u određenom vremenu postignu smičnu viskoznost za zadanu temperaturu i ona se zadržava konstantnom.

Ukoliko plastomerni materijali dođu u dodir s hladnim stijenkama kalupne šupljine brzo površinski očvrstnu (ohlade se) te daljnje popunjavanje kalupne šupljine ide kroz još toplu jezgru otpreska. [4]

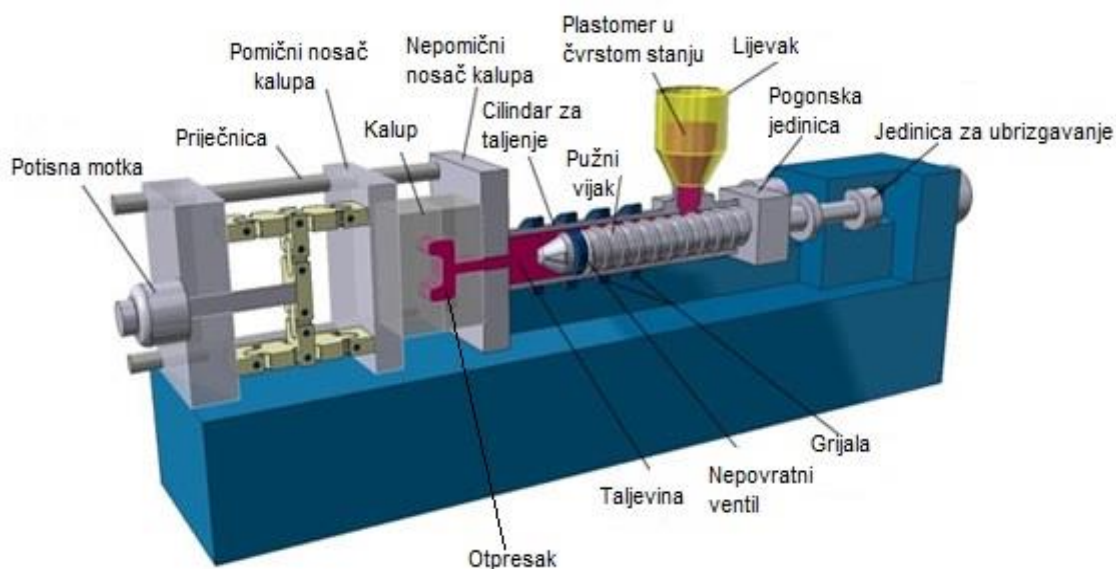
### 3.1. Elementi sustava za injekcijsko prešanje

Kod injekcijskog prešanja plastomera potreban je sustav za injekcijsko prešanje plastomera (slika 3.1) koji se sastoji od osnovnih dijelova, a to su:

- ubrizgavalica,
- kalup,
- temperiralo.

Elementi imaju funkciju pripreme tvari potrebne smične viskoznosti, ubrizgavanja, stvaranja praobluka i strukture tvorevine pri propisanoj temperaturi elemenata kalupne šupljine.

Dopunsku opremu čine oprema za manipulaciju materijalom i tvorevinom odnosno otprescima kao što su: manipulatori, transportne vrpce, roboti itd. [4]



Slika 3.1. Sustav za injekcijsko prešanje [5]

#### 3.1.1. Ubrizgavalica [4]

Ubrizgavalica je element koji mora ostvariti više funkcija, a to su:

- priprema taljevine za ubrizgavanje,
- ubrizgavanje taljevine u kalup,

- otvaranje i zatvaranje kalupa,
- vađenje otpreska.

Ubrizgavalica se smatra univerzalnim elementom sustava, što znači da se s njome, unutar njezinih zadanih izmjera i kapaciteta, može izrađivati beskonačan broj različitih otpresaka. Kod suvremenih ubrizgavalica za preradbu polimera s pužnim vijkom postoje sljedeći elementi: [6]

- jedinica za pripremu taljevine i ubrizgavanje,
- jedinice za zatvaranje kalupa,
- pogonske jedinice,
- jedinice za vođenje procesa.

#### *3.1.1.1. Jedinica za ubrizgavanje [6]*

Jedinica za ubrizgavanje smatra se osnovnim dijelom ubrizgavalice. Njezini glavni zadaci su plastificiranje plastomera radi postizanja potrebne smične viskoznosti, a time se postiže i sposobnost tečenja, zatim se zagrijana taljevina velikom brzinom, pod visokim tlakom, ubrizgava u kalupnu šupljinu.

Svaka jedinica za ubrizgavanje sastoji se od dva osnovna elementa, a to su: cilindar za taljenje i element za ubrizgavanje, pužni vijak ili ranije klip.

Zadatak pužnog vijka jest prihvatiti polimernu smjesu u obliku granulata ili praha, uvući ga u cilindar za taljenje i transportirati do sabirnice. Pri tome je važno osigurati da se granulat konstantno i nesmetano uvlači u cilindar radi održavanja ponovljivosti ciklusa preradbe.

Cilindar za taljenje na kraju ima mlaznicu čiji je zadatak spojiti ubrizgavalicu i kalup te omogućiti dovoljno veliku brzinu i protok.

#### *3.1.1.2. Jedinica za zatvaranje [6]*

Jedinica za zatvaranje ima zadaću dovođenja u dodir pomičnog i nepomičnog dijela kalupa, tj. zatvaranje kalupa, održavanje u dodiru dijelova kalupa tijekom ubrizgavanja i djelovanja naknadnog tlaka, otvaranje kalupa te vađenje otpreska iz kalupne šupljine.

#### *3.1.1.3. Pogonska jedinica*

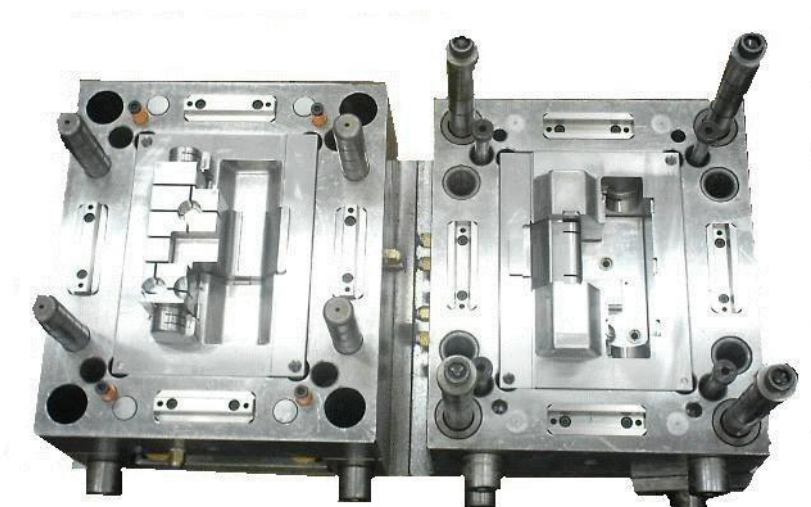
Pogonske jedinice daju pogonsku energiju jedinicama za ubrizgavanje i jedinicama za zatvaranje kalupa koje mogu biti električne, hidrauličke i mehaničke. [6]

#### *3.1.1.4. Jedinica za vođenje*

Jedinice za vođenje upravljaju i reguliraju ubrizgavalicom, u nekim slučajevima i kalupom i uređajem za temperiranje. [6]

### **3.1.2. Kalup**

Kalup ima točno određenu namjenu u sustavu za injekcijsko prešanje i može u pravilu poslužiti samo za pravljenje jedne vrste otpreska. Njegovi osnovni zadatci su: prihvaćanje taljevine pripremljene u ubrizgavalici, njezino očvršćivanje u željeni oblik otpreska te ciklički rad sustava za injekcijsko prešanje. Kalup mora sniženjem temperature taljevine dati oblik ubrizganom plastomeru i omogućiti da se dovoljno ohlađeni otpresak izvadi iz kalupne šupljine. Kalup je skup komponenata koje se trebaju povezati i sklopiti u funkcionalnu cjelinu. S obzirom na složenost modela otpreska i sam kalup može biti iznimno kompliciran. Osnovni elementi kalupa su: uljevni sustav, kalupna šupljina, sustav za izbacivanje otpreska, sustav za ostvarivanje međusobnog dodira nepomičnog i pomičnog dijela kalupa te kućišta. [6]

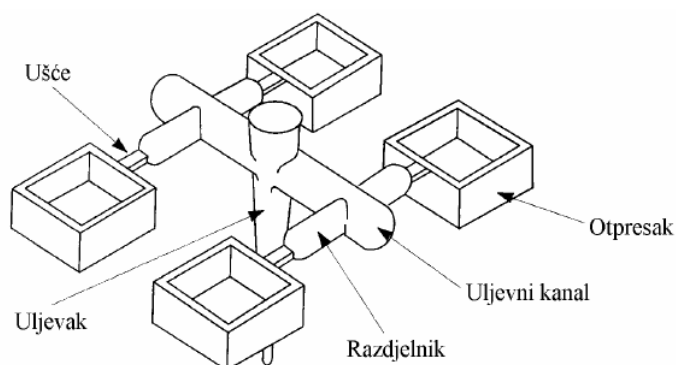


Slika 3.2. Kalup za injekcijsko prešanje [7]

### 3.1.2.1. Uljevni sustav

Uljevni sustav je element kalupa koji ispunjava parcijalnu funkciju razdjeljivanja plastomerne taljevine na određen broj kalupnih šupljina. Uljevni sustav se može sastojati iz nekoliko različitih dijelova, a gotovo svi završavaju ušćem prema kalupnoj šupljini povezujući uljevni sustav i kalupnu šupljinu. Konstrukciji ušća u kalupima treba posvetiti pozornost jer položaj, broj, oblik i izmjera ušća utječu na parametre preradbe. Postoje tri temeljne vrste uljevnih sustava: čvrsti (hladni) uljevni sustavi i kapljeviti (vrući) uljevni sustavi, te njihova kombinacija. Za izbor uljevnog sustava trebaju biti zadovoljeni kriteriji koji postavljaju otpresak, vrsta plastomerne taljevine, ubrizgavalica i konstrukcija kalupa.[8]


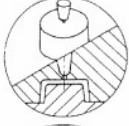
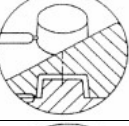
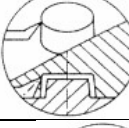


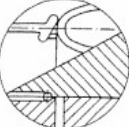


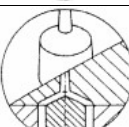


Čvrsti uljevni sustavi se sastoje od jednog ili više uljevnih kanala koji povezani omogućuju brzo, lakše i laminarnije provođenje plastomerne taljevine do kalupne šupljine. Očvrsnuti materijal u uljevnoj šupljini naziva se uljevni sustav, a sastoji se od uljevka, uljevnog kanala, razdjelnog kanala, ušća i zdenca. On povezuje mlaznicu ubrizgavalice i kalupnu šupljinu kanalima različitih dimenzija i oblika. (slika 3.3.)



Slika 3.3. Čvrsti uljevni sustav [8]

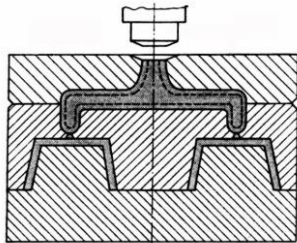
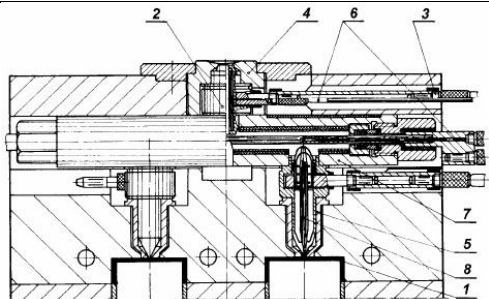
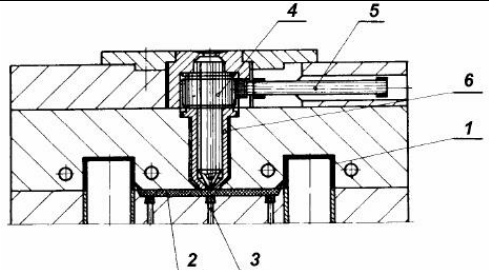
Vrući uljevni sustavi u usporedbi sa čvrstim imaju znatno manju količinu otpadnog materijala što je velika prednost s obzirom na velike proizvodne serije što može biti znatan udio u cijeni proizvodnje tj. bespotrebnog gubitka materijala. Upotrebom vrućeg uljevnog sustava postižu se znatno kvalitetniji otpresci koji ne zahtijevaju naknadnu obradu odvajanja otpreska od uljevnog sustava te se zbog boljeg tečenja taljevine kroz uljevni sustav omogućuje tankostijeno injekcijsko prešanje. U tablici 3.1 prikazane su vrste ušća i njihove prednosti i nedostaci.

Tablica 3.1. Vrste ušća i prednosti i nedostaci [8]

Vrsta ušća	Tip ušća	Shema	Primjedba
Točkasto	Nepostojeće (lažno)		Uljevak preuzima ulogu ušća; omogućen visoki naknadni pritisak.
	Normalno središnje		Spriječen povratni tok taljevine; ne zahtijeva naknadnu obradbu; najčešća uporaba kod tankostijenih otpresaka; pogodni za stvaranje orijentirane strukture.
	Normalno (obično) rubno		
	Podušće (tunelno ušće)		Omogućeno automatsko otkidanje uljevka i njegovo zadržavanje na izvlačilu.
Lepezasto			Uzrokuje manju orijentiranost strukture nego točkasta ušća; prikladnije je pri povišenim udjelima ojačala u plastomeru.
Filmsko			Primjena pri izradbi otpresaka velike površine; postižu smanjenu orijentiranost strukture.
Čekićasto			Ostvaruje se sniženje tlaka u kalupnoj šupljini; poboljšana optička svojstva otpreska.
Prstenasto	Vanjsko		Za kružne, rotacijski simetrične šuplje otpreske. Kalupna šupljina se počinje puniti tek kada se uljevni prsten ispuni plastomernom taljevinom; pri vađenju otpresaka automatski se otkida uljevni sustav
	Unutrašnje		
Kružno	Ljevkasto		Uporaba pri izradbi otpresaka oblika tuljca, prstena, valjka i sl.; omogućuje jednoliko punjenje kalupne šupljine; postižu se jednolike debljine stijenki.
	Membransko		
	Pločasto		

Uljevne sustave moguće je podijeliti na sustave s izoliranim uljevnim kanalima, sustave s vrućim uljevnim kanalima i kombinacijom sustava s vrućim i čvrstim uljevnim kanalima. U tablici 3.2. prikazani su primjeri pojedinih vrsta vrućih uljevnih sustava. [8]

Tablica 3.2. Sistematizacija vrućih uljevnih sustava [8]

Vrsta vrućeg uljevnog sustava	Primjer	Primjedba
Sustav s izoliranim uljevnim kanalima		<ul style="list-style-type: none"> <li>- najjednostavnija izvedba</li> <li>- vrlo veliki presjek kanala</li> <li>- loša toplinska izolacija kanala</li> </ul>
Sustav s vrućim uljevnim kanalima	 <p>1-otpresak, 2-grijana dovodna mlaznica, 3-priključak el. energije, 4,5-kućište, 6-grijalo, 7-razdjelni blok, 8-mlaznica</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- podjela <i>unutarnje</i> zagrijavane i <i>vanjsko</i> zagrijavane sustave</li> <li>- toplinska homogenost taljevine u kalupnoj šupljini ovisi o vremenu</li> <li>- provedenom u uljevnom sustavu</li> <li>- sustavi zahtijevaju manje toplinske izolacije</li> <li>- kompaktnija konstrukcija kalupa</li> </ul>
Kombinacija vrućeg i čvrstog uljevnog sustava	 <p>1-otpresak, 2-razdjelni kanal, 3-izvlačilo, 4-mlaznica, 5-priključak el. energije, 6-kućište mlaznice</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- za izradbu otpresaka gdje se zahtijeva izvedba postranog ušća</li> </ul>



Tablica 3.3. Prednosti i nedostaci vrućih uljevnih sustava [8]

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> <li>-ušteta materijala i manji troškovi preradbe (nema otpada)</li> <li>- ušteta energije (moguća preradba pri nižim temperaturama)</li> <li>- kraće vrijeme ubrizgavanja</li> <li>- nema negativnog utjecaja grozda na vrijeme hlađenja otpreska</li> <li>- kraće vrijeme vađenja otpreska iz kalupa</li> <li>- kraći ciklus injekcijskog prešanja</li> <li>- manje opterećenje ubrizgavalice</li> <li>- uporaba standardnih elemenata kalupa</li> <li>- povišenje kvalitete otpresaka</li> <li>- nema potrebe za naknadnim odvajanjem uljevnog sustava od otpreska</li> <li>- moguće je ostvariti dulji put tečenja taljevine</li> <li>- jednostavnija je automatizacija ciklusa injekcijskog prešanja</li> <li>- manji pad tlaka u uljevnom sustavu</li> <li>- moguće je podesiti dulje djelovanje naknadnog pritiska (manje stezanje)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-dulje vrijeme konstruiranja kalupa</li> <li>- dulje je vrijeme izradbe kalupa</li> <li>- viša cijena kalupa</li> <li>- potrebno je školovano i osposobljeno osoblje</li> <li>- veća je vjerojatnost zastoja u radu kalupa</li> <li>- potrebno je dodatno usklađivanje vrućih elemenata temperaturnim regulatorom</li> <li>- dodatni uređaji osjetljiviji su na neispravno rukovanje</li> <li>- smanjena mogućnost brtvljenja uljevnog sustava</li> <li>- poteškoće u odvajanju toplijeg i hladnijeg dijela kalupa</li> <li>- lošija izmjena topline u kalupu</li> <li>- opasnost od toplinske razgradnje plastomerne taljevine</li> <li>- opasnost od nejednolikog punjenja kalupnih šupljina zbog lošeg temperiranja kalupa</li> <li>- nemogućnost upravljanja tijekom tlaka u području ušća</li> </ul>



Slika 3.4. Vrući blok s mlaznicama [9]

### 3.1.2.2. Kalupna šupljina

Kalupna šupljina je prostor koji je definiran kroz pomični i nepomični dio kalupa. Oblik kalupne šupljine je isti kao i oblik otpreska, ali dimenzije su uvećane za iznos stezanja plastomernog materijala kojeg prerađujemo. Kalupi se dijele na one koji imaju jednu kalupnu šupljinu i one koji imaju više kalupnih šupljina. Kod kalupa s više kalupnih šupljina važan je i raspored kalupnih šupljina zbog optimalne udaljenosti uljevaka do svake kalupne šupljine čime se osigurava kraći vremenski ciklus injekcijskog prešanja, manje dimenzije kalupa i manje otpadnog materijala. Neki od slučajeva rasporeda kalupnih šupljina prikazani su u tablici 3.4.

Tablica 3.4. Temeljni slučajevi rasporeda kalupnih šupljina [7]

		PREDNOSTI	NEDOSTACI
<b>ZVJEZDASTI RASPORED</b>			
Neuravnoteženi	Uravnoteženi	Isti put tečenja do svih kalupnih šupljina. Povoljan raspored za vađenje, naročito kod kalupa s mehaničkim odvrtanjem navojne jezgre.	Ograničen broj kalupnih šupljina. Kod većeg broja kalupnih šupljina veliki je utrošak materijala (ići na redni raspored).
<b>REDNI RASPORED</b>			
Neuravnoteženi	Uravnoteženi	Mogući veći broj kalupnih šupljina nego kod zvjezdastog rasporeda. Kod većeg broja kalupnih šupljina razdjelnici su kraći nego kod zvjezdastog rasporeda (manji utrošak materijala).	Nejednolik put tečenja do svih kalupnih šupljina. Istovremeno punjenje kalupnih šupljina je moguće samo uz različite presjeke razdjelnika i/ili ušća (korekcija poprečnog presjeka ušća).
<b>SIMETRIČNI RASPORED</b>			
Neuravnotežen	Uravnotežen	Isti put tečenja do svih kalupnih šupljina. Nije potrebna korekcija poprečnog presjeka ušća.	Veliki obujam uljevnog sustava, veliki otpad. Preporučuje se primjena vrućeg uljevnog sustava.

Funkcije kalupne šupljine su: [8]

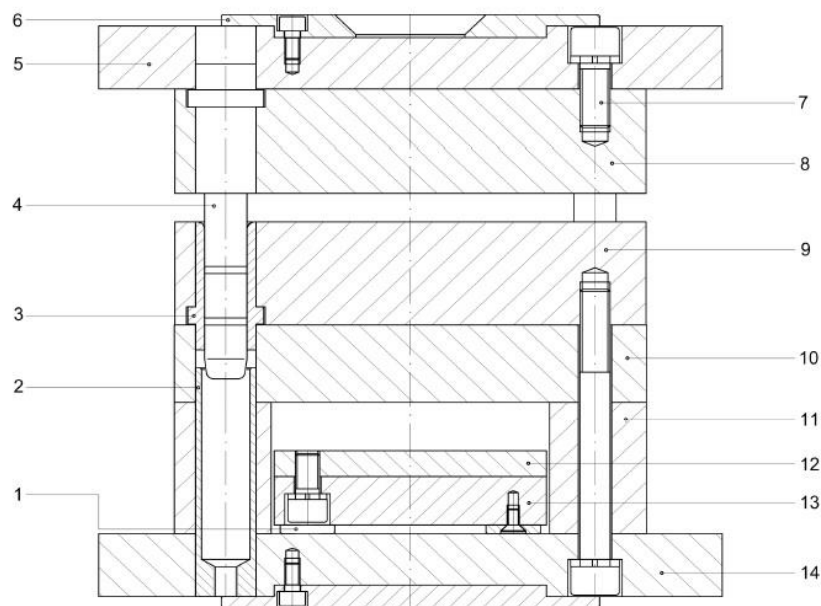
- razdioba plastomerne taljevine,
- definiranje izmjere otpreska,
- prijenos tlaka taljevine u kalupnu šupljinu,
- definiranje kvalitete površine otpreska.

### *3.1.2.3. Kućište kalupa*

Na slici 3.5 prikazano je kućište kalupa koje je skup određenog broja ploča koje zajedno čine nosivu konstrukciju kalupa. Ono kao cjelina ispunjava tri parcijalne funkcije a to su: [8]

- povezivanje dijelova kalupa,
- pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu,
- prihvaćanje i prijenos sila.

Ploče kućišta kalupa su paralelne radi lakšeg slaganja u sklopove. Kućište se mora konstruirati tako da se omogući lagano i sigurno pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu. U kućište se ugrađuju svi dijelovi koji oblikuju kalupnu šupljinu, te svi ostali elementi koji su potrebni za ispravan rad kalupa. Na konstrukciju kalupa najveći utjecaj imaju dimenzije otpreska, količina proizvodnje te stupanj automatiziranosti rada kalupa. [8]



Slika 3.5. Elementi kućišta kalupa [8]: 1 - naslon, 2 - centrirna puškica, 3 - vodeća puškica, 4 - vodeći zatik, 5 - nepomična stezna ploča, 6 - prsten za centriranje, 7- vijak, 8 - nepomična kalupna ploča, 9 - pomična kalupna ploča, 10 - temeljna ploča, 11 - odstojna letva, 12 - ploča izbacivala, 13 - potisna ploča, 14 - nepomična stezna ploča kalupa

Prema načinu vađenja otpreska iz kalupa i vrsti uljevnog sustava kućišta u grubo ih se svrstava u pet skupina: [8]

- pravokutna kućišta,
- okrugla kućišta,
- kućišta s postranim otvaranjem kalupnih ploča,
- kućišta sa školjkastim kalupnim pločama,
- posebna kućišta.

#### 3.1.2.4. Sustav za izbacivanje

Sustav za izbacivanje otpreska iz kalupa obavlja parcijalnu funkciju otvaranja kalupa i vađenje otpreska iz kalupne šupljine. S obzirom na način djelovanja sustavi za vađenje otpreska se dijele na: mehaničke, pneumatske, hidrauličke i mješovite. U današnje vrijeme se najčešće primjenjuju sustavi sa mehaničkim načinom vađenja. [8]

### *3.1.2.5. Sustav za ostvarivanje međusobnog dodira nepomičnog i pomičnog dijela kalupa*

Sustav za ostvarivanje međusobnog dodira nepomičnog i pomičnog dijela kalupa služi kako bi se osiguralo točno nalijeganje jednog dijela kalupa na drugi. Pri tome moramo razlikovati vanjsko i unutarnje centriranje. Vanjsko centriranje je potrebno radi točnog pozicioniranja kalupa na nosače kalupa ubrizgavalice, a izvodi se pomoću prstena za centriranje. Sustav za unutrašnje vođenje i centriranje kalupa služi za vođenje i centriranje kalupnih ploča i ostalih elemenata kalupa pri otvaranju i zatvaranju kalupa, a najčešće se sastoji od vodeće puškice, vodećeg zatika i centrirne puškice. [8]

### **3.1.3. Temperiralo**

Temperiralo ispunjava parcijalnu funkciju reguliranja temperature u kalupnoj i uljevnoj šupljini, a način postizanja ovisi o uvjetima s obzirom na potrebu zagrijavanja ili hlađenja kalupa. Ono utječe na uspješno odvijanje i trajanje ciklusa injekcijskog prešanja. Optimiranjem temperaturne razlike između temperature taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine određuje se kvaliteta otpreska koji zahtjeva da razlika bude što manja dok proizvodnost zahtjeva što veću temperaturnu razliku.

Propisanu temperaturu stijenke kalupne šupljine moguće je postići: vodom iz vodovodne mreže (s dodacima ili bez njih), posebnim uređajem, temperiralom, kojim u zatvorenom krugu kruži medij za temperiranje i impulsnim temperiranjem (cijevnim grijalima i vodom iz vodovodne mreže). Najjednostavnije temperiranje je temperiranje vodom iz vodovodne mreže, ali ono ima velikih nedostataka a to su: nepovratno se troši, cijena vode je sve veća, mijenjaju se uvjeti procesa s obzirom na godišnja doba, taloži se kamenac što pogoršava izmjenu topline, pa ponekad nije moguće postići vrlo niske temperature medija za temperiranje s obzirom na zahtjeve procesa. [3]

Radi toga su razvijeni posebni rashladni strojevi za vrlo niske temperature medija za temperiranja koje iznose nekoliko stupnjeva ispod ili iznad ledišta, dok za ostale temperature se primjenjuju temperirala s vodom, mješavinom vode s etilen-glikolom ili uljem. Kod temperatura koje ne prelaze 95 °C upotrebljavaju se i otvorena temperirala, čiji kružni tok nije osiguran od prekida u radu stroja. Kod takvih temperirala tlakovi su niski te iznose od 0,5 do

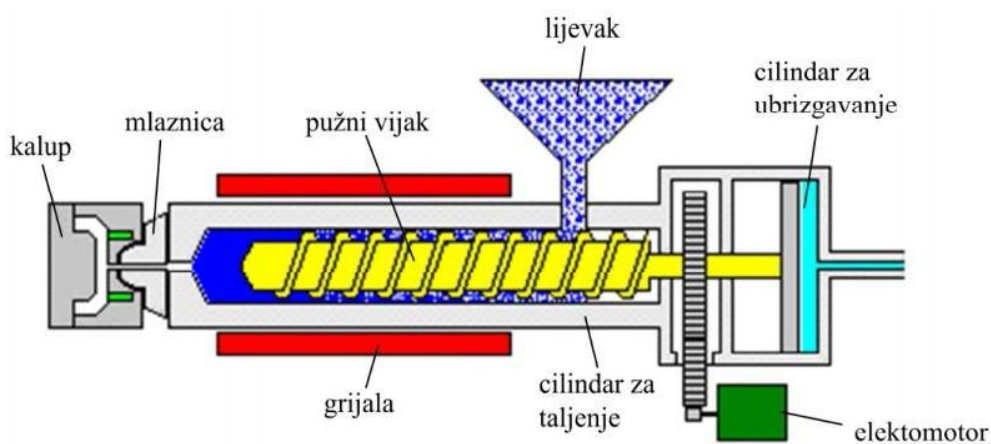
3 bara. S druge strane, zatvorena temperirala su opremljena sigurnosnim ventilima koji imaju zadaću osigurati kružni tok medija od prekida u radu. Kod zatvorenih temperirala tlakovi dosežu od 8 do 10 bar, i mogu se dobiti temperature od 135 °C do 150 °C. Ta temperirala se proizvode s regulacijom temperature medija za temperiranje ili pomoću termo elemenata koji su smješteni u stijenci kalupa. Kod reguliranja temperature medija za temperiranje dopušteno je odstupanje do 0,5 °C. Puno bolje rješenje od regulacije temperature samog medija za temperiranje je regulacija temperature medija za temperiranje na temelju mjerenja temperature stijenke kalupa. Time se postiže veća preciznost održavanja temperature stijenke kalupne šupljine, a time i kvaliteta proizvodnog procesa te samog proizvoda. [3]

### 3.2. *Tijek temeljnih faza injekcijskog prešanja*

Injekcijsko prešanje plastomera je dinamički, nelinearan proces koji se sastoji od četiri temeljne faze: priprema plastomerne taljevine (plastifikacija), punjenje kalupne šupljine, djelovanje naknadnog tlaka i vađenje otpreska iz kalupne šupljine. Na slikama 3.6, 3.7 i 3.8 prikazane su faze injekcijskog prešanja uz objašnjenja. [3]

#### 1. faza – plastificiranje (slika 3.6)

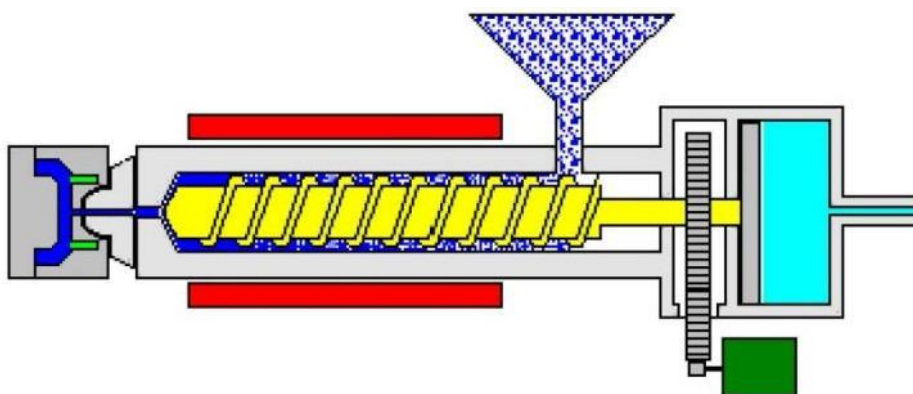
Granule plastomera se dobavljaju kroz lijevak ubrizgavalice u cilindar gdje ih zahvaća pužni vijak. Toplina dovedena grijalima i toplina nastala vrtnjom pužnog vijka dovodi do taljenja plastomera. Tijekom pripreme plastomerna taljevina skuplja se ispred vrha pužnog vijka (sabirnica) koji biva potisnut unatrag. [3]



Slika 5 Plastificiranje [3]

## 2. faza - ubrizgavanje i djelovanje naknadnog tlaka (slika 3.7)

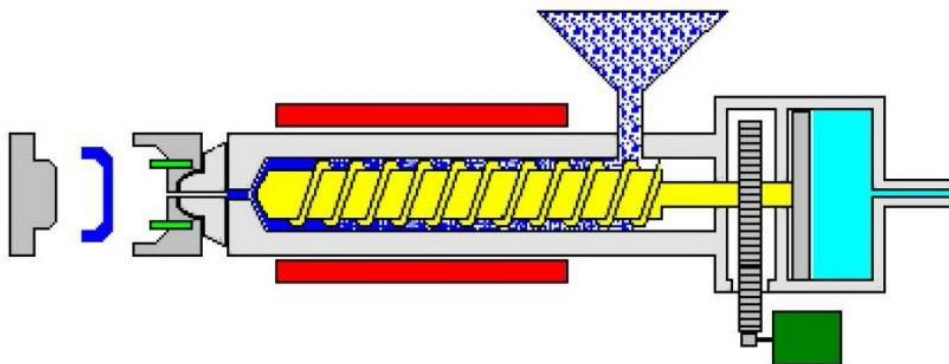
Kada se u sabirnici pripremi dovoljno plastomerne taljevine, rotacija pužnog vijka se zaustavlja. Zatim hidraulički sustav potiskuje pužni vijak i dolazi do ubrizgavanja taljevine u kalupnu šupljinu. Nakon ubrizgavanja slijedi faza djelovanja naknadnog tlaka, koji djeluje u kalupnoj šupljini i održava se pri propisanoj vrijednosti dok plastomerna taljevina očvršćuje. Ta faza djelovanja naknadnog tlaka nastavlja se sve dok ne očvrstne područje ušća nakon čega tlak u kalupnoj šupljini pada do okolišnog tlaka. Time se nastoji nadoknaditi stezanje materijala. [3]



Slika 3.7. Ubrizgavanje i djelovanje naknadnog tlaka [3]

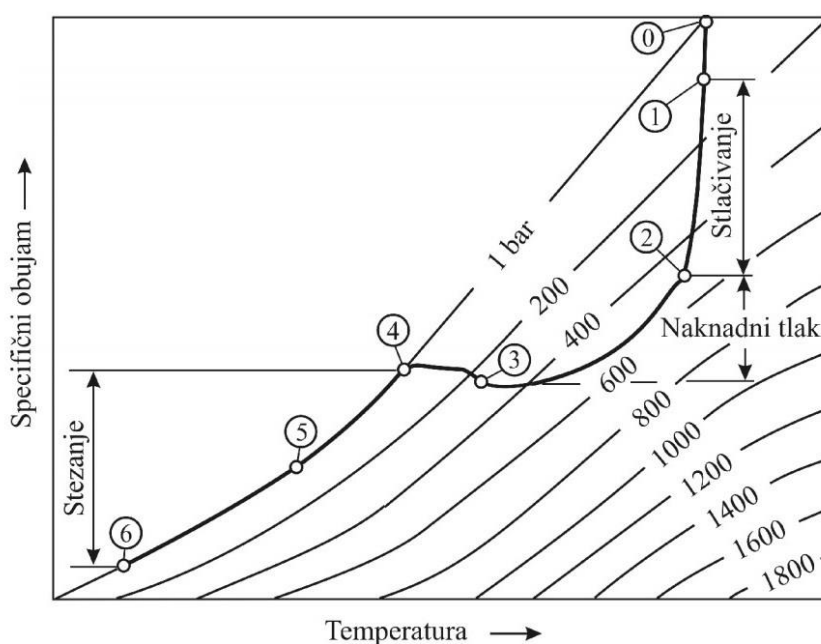
## 3. faza - hlađenje i vađenje otpreska iz kalupa (slika 3.8)

U trenutku očvršćivanja ušća otpresak poprima svoj konačan oblik u kalupu, no temperatura otpreska je i dalje previsoka da bi se moglo sigurno izvaditi iz kalupne šupljine. Zato je otpresku potrebno osigurati nužno vrijeme hlađenja do postizanja temperature postojanosti oblika. Ta faza se naziva fazom hlađenja otpreska koja ujedno i uključuje i fazu plastificiranja, tijekom koje se u cilindru za taljenje priprema nova količina plastomerne taljevine za idući ciklus. Nakon faze hlađenja nastupa faza vađenja otpreska iz kalupa. [3]



Slika 3.8. Hlađenje i vađenje otpreska iz kalupa [3]

Sva ova zbivanja u kalupnoj šupljini tijekom injekcijskog prešanja imaju presudnu ulogu kod određivanja svojstava gotovih otpresaka. Potrebno je poznavati termodinamičko ponašanje plastomernih materijala radi što boljeg razumijevanja zbivanja u kalupnoj šupljini tijekom procesa injekcijskog prešanja. Temeljno termodinamičko svojstvo plastomera je ovisnost specifičnog obujma o tlaku i temperaturi koje se opisuje pomoću dijagrama  $p-v-T$  (slika 3.9). Dijagram je od ključne važnosti za razumijevanje procesa procesa injekcijskog prešanja, ali i radi optimalnih parametara preradbe. [3]



Slika 3.9. Tijek tlaka u  $p-v-T$  dijagramu [3]

0-1 Volumno punjenje kalupne šupljine. U trenutku 0 taljevina dolazi u nadzornu točku u kalupnoj šupljini, a tlak u kalupnoj šupljini raste. Porast tlaka popraćen je laganim hlađenjem taljevine do trenutka potpunog ispunjavanja kalupne šupljine. [3]

1-2 Stlačivanje. Nakon faze punjenja kalupne šupljine taljevina se stlači s pomoću naknadnog tlaka. U toj fazi tlak u kalupnoj šupljini postiže najvišu vrijednost. Efekti hlađenja taljevine još su uvijek vrlo mali. [3]

2-3 Djelovanje naknadnog tlaka. Otpresak očvršćuje te se steže i odvaja od stijenki kalupne šupljine. Smanjenje obujma moguće je nadoknaditi ubrizgavanjem dodatne taljevine u



kalupnu šupljinu. Uslijed povećanih efekata hlađenja, efektivni presjek kroz kojeg je moguće tečenje taljevine je smanjen pa je pad tlaka kroz uljevni sustav veći. [3]

3-4 Izohorno sniženje tlaka. Kada dođe do potpunog očvršćivanja ušća i taljevine u području kalupne šupljine oko ušća, ubrizgavanje dodatne taljevine više nije moguće. Stoga dolazi do daljnjeg izohornog pada tlaka u kalupnoj šupljini (bez promjena u specifičnom obujmu). [3]

4-5 Hlađenje do vađenja iz kalupne šupljine. Nakon postizanja tlaka u kalupnoj šupljini od 1 bar, daljnje sniženje tlaka nije moguće (izjednačio se s okolišnim tlakom), pa se daljnje hlađenje otpreska odvija pri izobarnim uvjetima. [2]

5-6 Hlađenje do okolišne temperature. Otpresak se vadi iz kalupne šupljine u točki 5, te se nastavlja hladiti do okolišne temperature izvan kalupa. [2]

U dijagramu je vidljivo da su najvažnije promjene tijekom djelovanja naknadnog tlaka (2-4). Zato se većina svojstava otpreska kao što su specifični obujam, masa, stezanje, zaostala naprezanja i dimenzijska stabilnost najčešće određuju tijekom faze djelovanja naknadnog tlaka. Točka pri kojoj tlak u kalupnoj šupljini dostiže okolišni tlak (4) ključna je u definiranju stezanja otpreska, tj. postizanju dimenzijske stabilnosti. Obično u praksi stezanje otpreska završava kod izjednačavanja s temperaturom okoliša (6). Iako kod prerade kristalastih plastomera treba računati s naknadnim stezanjem zbog naknadne kristalizacije plastomera. [2]

## 4. ZAHTJEVI I IZBOR MATERIJALA ZA PLASTIČNU AMBALAŽU

Izbor polimernog materijala u procesu razvoja proizvoda je od velikog značaja za sam proizvod. Materijal mora odgovarati na sve zahtjeve koji su postavljeni na taj proizvod. Tako ovisno o vrsti ambalaže postoje i drugačiji zahtjevi, jer kruta ambalaža za razliku od savitljive zahtjeva otpornost na udarce, žilavost. Neki važniji zahtjevi su: [3]

Mehanički zahtjevi:

- čvrstoća pri slaganju u visinu i pritisna čvrstoća,
- krutost (modul elastičnosti),
- savojna žilavost.

Toplinski zahtjevi:

- svojstvo toplinske izolacije,
- toplinska postojanost oblika.

Optički zahtjevi:

- prozirnost odnosno propusnost svjetla,
- kvaliteta površine (glatkoća i sjaj).

Kemijski zahtjevi:

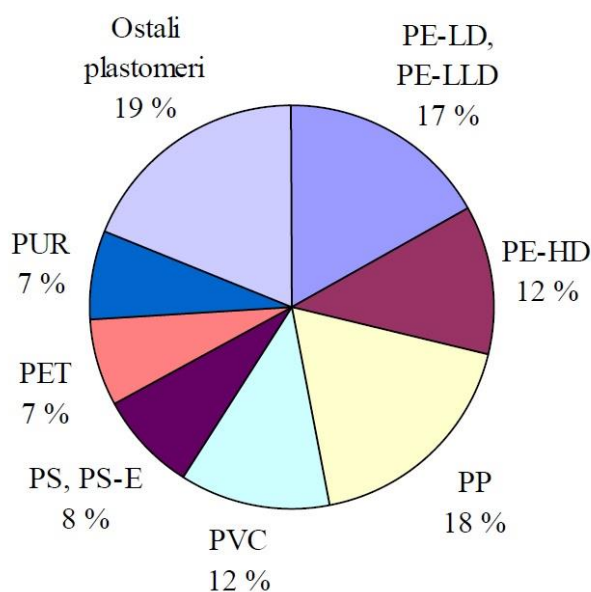
- postojanost na kapljevine s različitim svojstvima,
- permeativnost (propusnost) plinova, para, aromatičnih tvari,
- svojstva površine ambalaže (mogućnost nanošenja tiska),
- postojanost na napukline od naprezanja (tenzokorozijska čvrstoća).

Ostali zahtjevi:

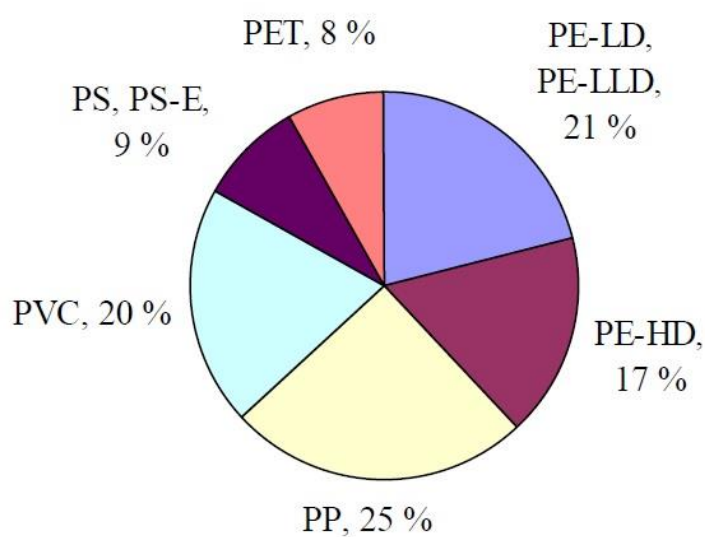
- mogućnost razgradnje ambalaže,
- mogućnost toplog oblikovanja,
- kontakt s hranom,
- reciklabilnost,
- zavarivanje i vruće spajanje.

#### 4.1. Glavni plastični ambalažni materijali

Među više od 50 različitih vrsta plastičnih materijala koji se danas proizvode, više od 72 % čini njih pet, tzv. širokoprimjenjivi plastomeri: polietilen niske i linearni polietilen niske gustoće (PE-LD i PE-LLD), polietilen visoke gustoće (PE-HD), poli(vinil-klorid) (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS) te poli(etilen-tereftalat) (PET). [3] Na slikama 4.1 i 4.2 prikazan je udjel navedenih polimera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji, te u tablici 4.1 njihova najčešća primjena.






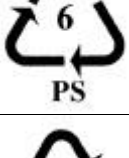



Slika 4.1. Udjeli pojedinih vrsta polimera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji 2010. [3]



Slika 4.2. Udjeli pojedinih vrsta širokoprimjenjivih plastomera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji 2010. [3]

Tablica 4.1. Oznake i primjena najprimjenjivijih polimera za ambalažu [3]

Materijal	Oznaka	Ambalažna primjena
1.PET poli(etilen- tereftalat)		Ambalaža: boce za bezalkoholna pića i vodu, boce za pivo, spremnici za začine za salatu, ambalaža za kozmetiku, toplinski postojani poslužavnici i filmovi za hranu za upotrebu u mikrovalnim pećnicama
2.PE-HD polietilen visoke gustoće		Ambalaža: vrećice za smeće i maloprodaju, boce za tekući deterdžent i šampon, spremnici za destiliranu vodu, posudice za jogurt i margarin, puhani i ljevani filmovi za pakiranje hrane, čepovi za boce
3.PVC poli(vinil-klorid)		Ambalaža: prozirni omoti za hranu, boce za kozmetičke proizvode, mjehurasta pakovanja za medicinske i farmaceutske proizvode, filmovi za maslac, meso, ribu i ostalu svježu hranu
4.PE-LD polietilen niske gustoće		Ambalaža: vrećice za kruh, vrećice za smrznutu hranu, gnjetljive vrećice, stezljivi omoti, spremnici i vrećice za hranu i odjeću
5.PP polipropilen		Ambalaža: bočice za kečap, čašice jogurta, posudice za margarin, medicinske bočice, poklopci za boce, spremnici za čuvanje u hladnjaku, filmovi postojani na masti
6.PS polistiren		Ambalaža: poslužavnici za svježe meso, kutije za jaja, tankostijene čaše, tanjuri i pribor za jedenje, toplo oblikovani spremnici za mljekarske proizvode, zaštitna ambalaža za elektroničku robu
7. ostali višeslojni (laminirani) materijali		Višekratne boce za vodu velikog obujma (više od 10 l), boce za sok od citrusa, boce za kečap

## **5. Razvoj polimernog proizvoda za injekcijsko prešanje**

Kod razvijanja novog proizvoda mora se biti jako kreativan i sposoban u provedbi zahtjeva za taj proizvod, materijal, postupak kojim će se izraditi te dizajnom kojim treba privući pažnju krajnjih korisnika (kupaca). Kako se svaki razvoj proizvoda zasniva na idejama, u radu je konstruirano najbolje rješenje s obzirom na zahtjeve.

### **5.1. Razvoj proizvoda**

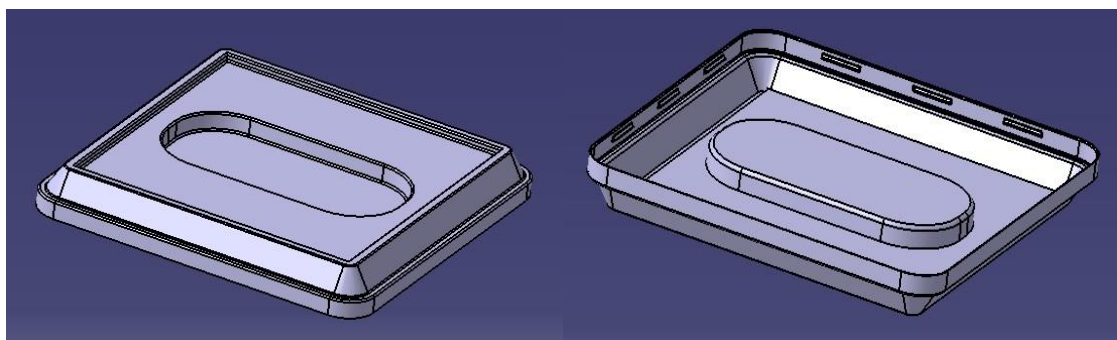
Kod razvoja polimernog proizvoda za pakiranje gotovih obroka u prehrambenoj industriji, moralo se velikom pažnjom i sistematizacijom aktivnosti paziti na sve zahtjeve koje taj proizvod zahtjeva. Tijekom konstruiranja nastojalo se zadovoljiti estetske, funkcionalne i ergonomske zahtjeve uz čim veću jednostavnost proizvoda zbog smanjenja troškova izrade kalupa i samog otpreska. Sam proizvod (posuda s odgovarajućim poklopcem) ima zadaću onemogućiti kontakt proizvoda iz posude te zaštitu od vanjskih čimbenika koji mogu narušiti postojanost i promijeniti kemijski sastav pakiranog proizvoda.

Kod razvoja i konstruiranja posude s poklopcem nastojalo se pridržavati zadanih specifikacija koje je sam naručitelj zahtijevao. Osnovni zahtjevi su da ambalaža poprima kockasti oblik sa vršnim volumenom od 245 ml, te da se etiketa postavlja u samom procesu injekcijskog prešanja tako da posuda i etiketa nakon postupka su jedan proizvod koji se ne mogu razdvojiti. Na poklopcu s vanjske strane mora se osigurati pristup žličici koja je namijenjena za konzumiranje samog sadržaja posude, naknadno zaštićena prozirnom folijom. Pakiranje mora biti transparentno.

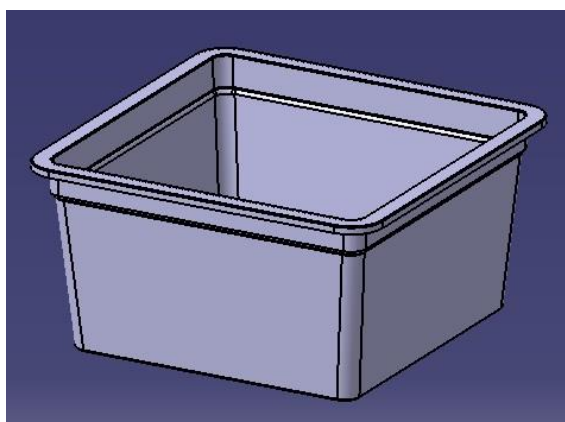
Pridržavajući se svih unaprijed zadanih općih karakteristika, konstruirani su posuda i odgovarajući poklopac. (slika 5.1). Debljina stijenke po čitavom presjeku je 0,5 mm, izbjegnuto gomilanje je mase, oštri rubovi i bridovi. Osigurana su skošenja u smjeru vađenja otpreska na svim stijenkama. Poklopac podrezima ostvaruje držanje uz posudu, jedino uz djelovanje određene sile moguće je otvaranje poklopca preskakanjem podreza zbog svojstva žilavosti materijala koji to omogućuje.



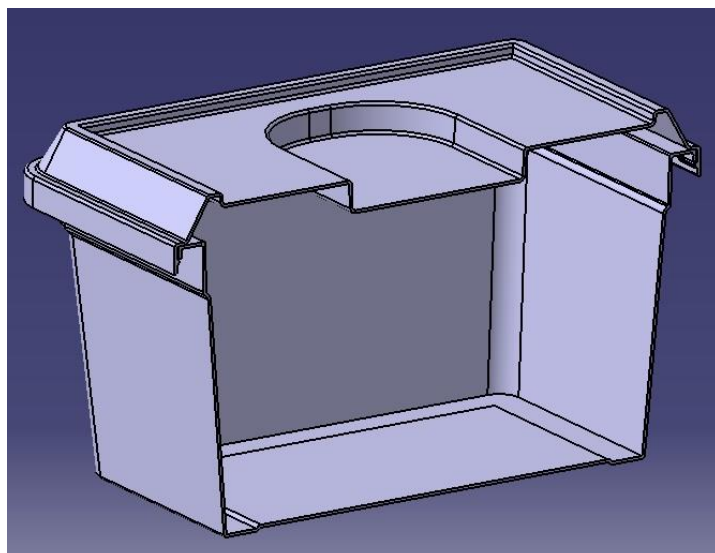
Slika 5.1. Posuda sa odgovarajućim poklopcem



Slika 5.2. Poklopac



Slika 5.3. Posuda



Slika 5.4. Presjek posude sa odgovarajućim poklopcem

## 5.2. Izbor materijala

Kod proizvoda koji se primjenjuje za prehrambenu industriju pri izboru materijala moraju se zadovoljiti svi uvjeti za taj proizvod: da se radi o materijalu za tanko stijeno pakiranje, za brze cikluse injekcijskog prešanja, dobre tecljivosti, prehrambenu ambalažu. Odabran je polipropilen, materijal tvrtke Borealis trgovačkog imena BH345MO mehaničkih i preradbenih svojstava navedeni u tablicama 5.1. i 5.2.

Tablica 5.1. Mehanička svojstva BH345MO [10]

<i>Fizička svojstva</i>	<i>Uvjeti ispitivanja</i>	<i>Vrijednost</i>	<i>Jednica</i>	<i>Metoda ispitivanja</i>
Gustoća	-	905	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Faktor tečenja	230°/2,16kg	45	g/10 min	ISO 1133
Granica naprezanja	50 mm/min	1.400	MPa	ISO 527-2
Granično naprezanje	50 mm/min	5	%	ISO 527-2
Granica razvlačenja	50 mm/min	26	MPa	ISO 527-2
Udarni rad loma	+23°C	6	kJ/m <sup>2</sup>	ISO179/1eA
Temp.postojanosti oblika	0,45 N/mm <sup>2</sup>	85	°C	ISO 75-2

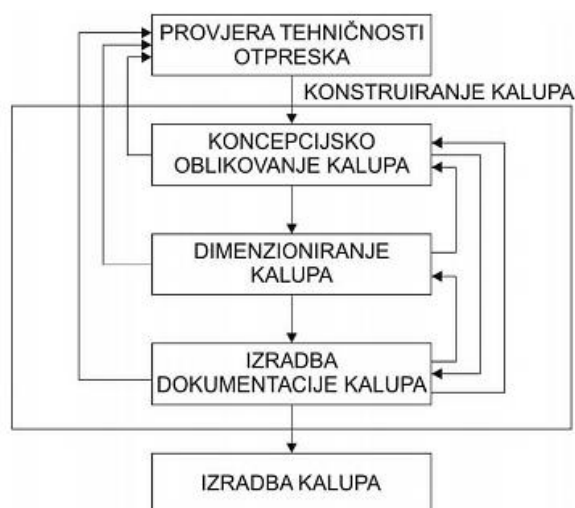
Tablica 5.2. Preradbena svojstva BH345MO [10]

<i>Svojstvo</i>	<i>Vrijednost</i>	<i>Jednica</i>	<i>Komentar</i>
Toplinska provodnost, $\lambda$	0,16	W/mK	-
Temperatura taljevine	210 - 260	°C	-
Brzina ubrizgavanja	-	-	Najveća moguća
Naknadni tlak	200 do 500	bar	Minimalno potreban da izbjegnemo usahline
Temperatura kalupa	10-30	°C	-
Skupljanje	1 – 2	%	Ovisi o parametrima preradbe i debljini stijenke
Skladištenje	< 50	°C	Zaštititi od UV zračenja



## 6. METODIČKO KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE

U ovom poglavlju je fokus na metodičko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje ambalaže za prehrambenu industriju. Tako pri konstruiranju kalupa potrebno je provesti niz radnji kako bi se odabralo najbolje rješenje koje odgovara postavljenim tehničkim, gospodarstvenim i ostalim zahtjevima. Tijek konstruiranja moguće je u grubo podijeliti u tri temeljne faze. To su *početni postupci konstruiranja*, *središnja faza konstruiranja* i *završne aktivnosti konstruiranja*. Na slici 6.1. mogu se vidjeti temeljne faze konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje.

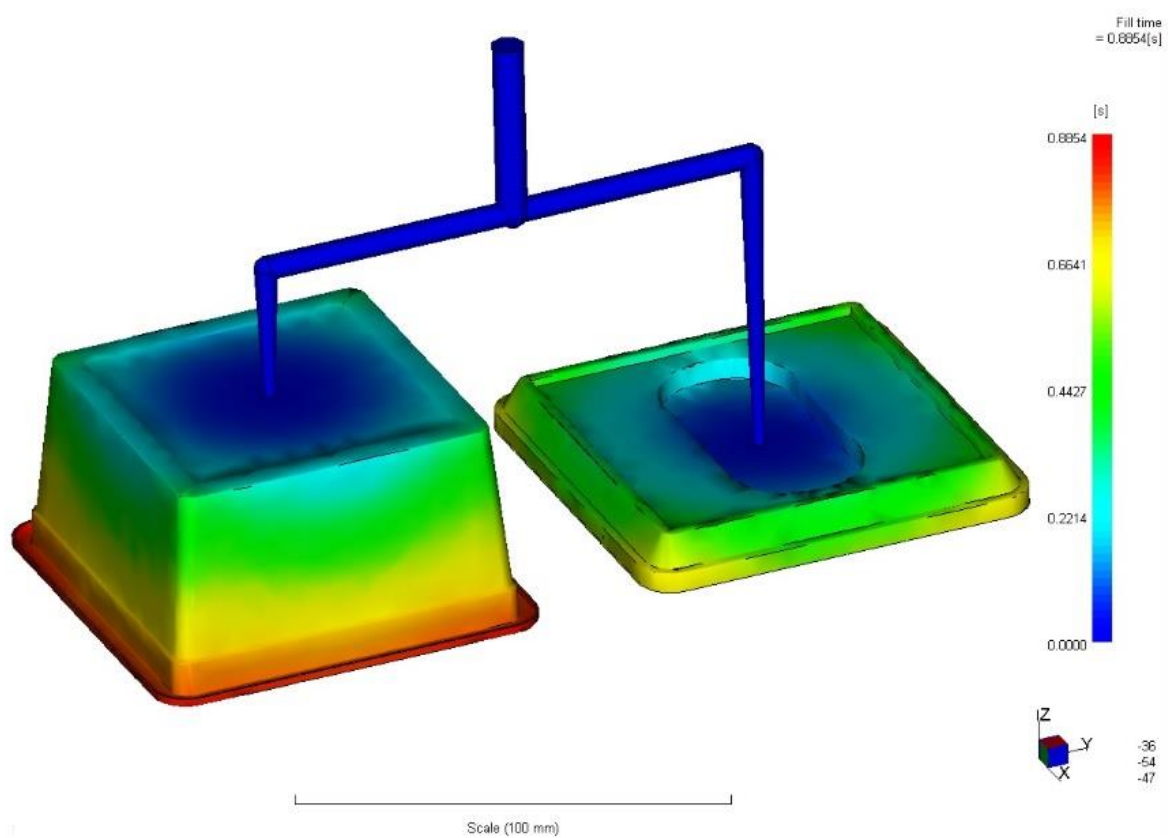


Slika 6.1. Temeljne faze konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje [8]

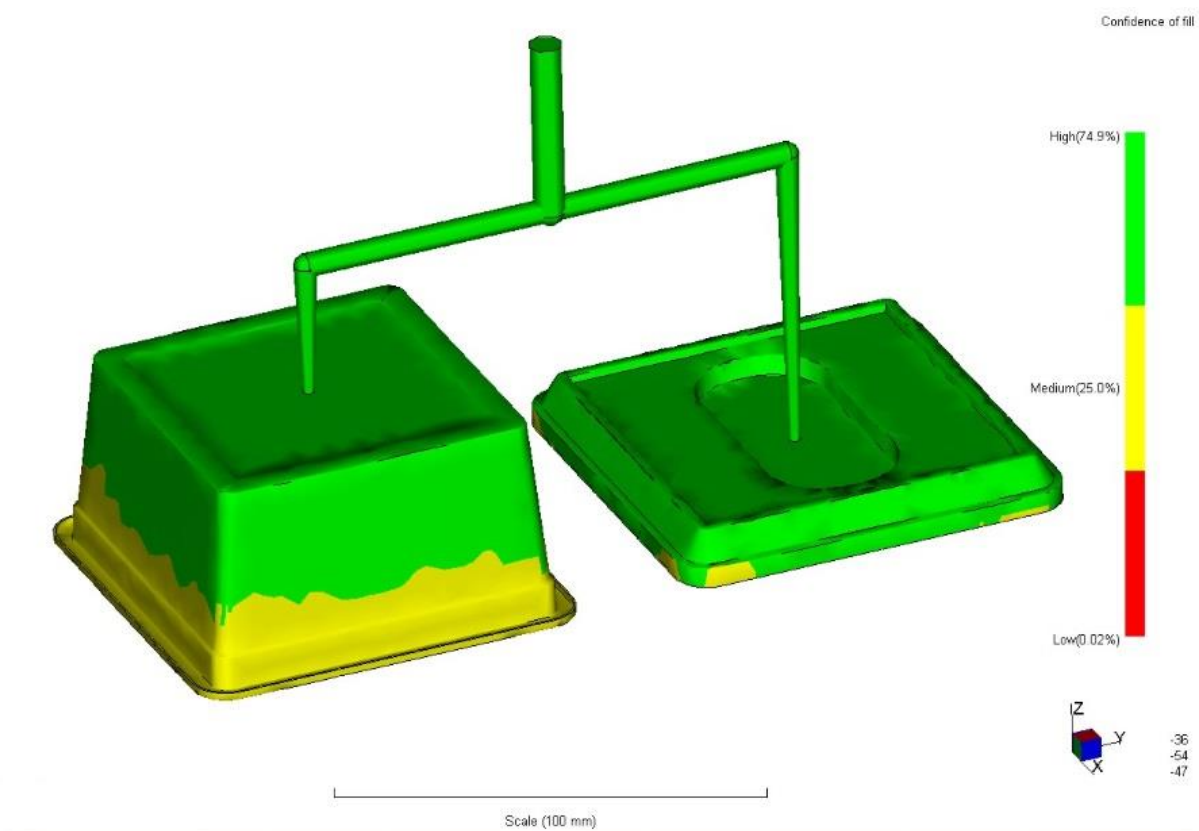
### 6.1. Provjera tehničnosti otpreska

Kod provjere tehničnosti otpreska ne smiju se zanemariti razni utjecaji materijala kao što su npr. skupljanje materijala., te oblikovanje otpresaka prema pravilima konstruiranja proizvoda za injekcijsko prešanje koje je obrađeno u 2. i 5. poglavlju.

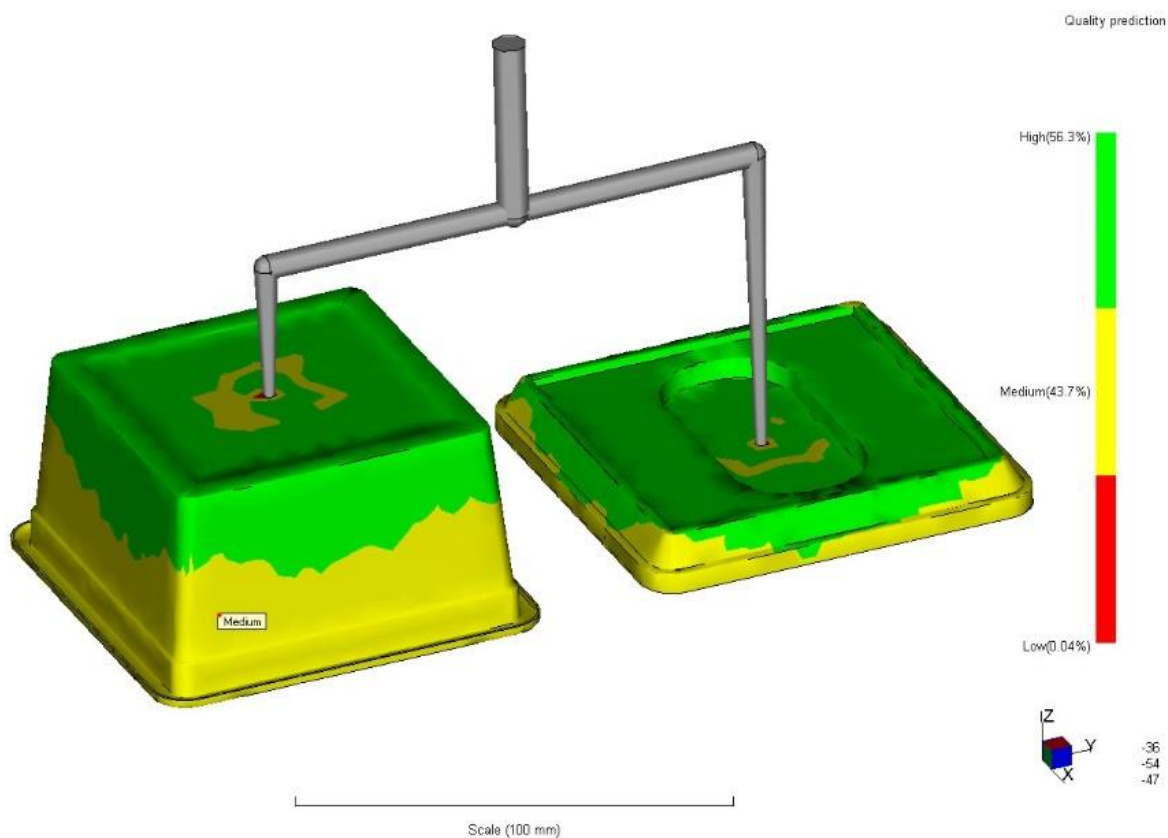
Provjeru tehničnosti otpresaka će se izvesti nizom simulacija u računalnom programu *Moldflow Adviser 2014*. Prethodno dimenzioniranim uljevnim sustavom i otpreskom te definiranim materijalom i osnovnim parametrima preradbe dobiveni su rezultati koji su prikazani na slikama 6.2. do 6.7.



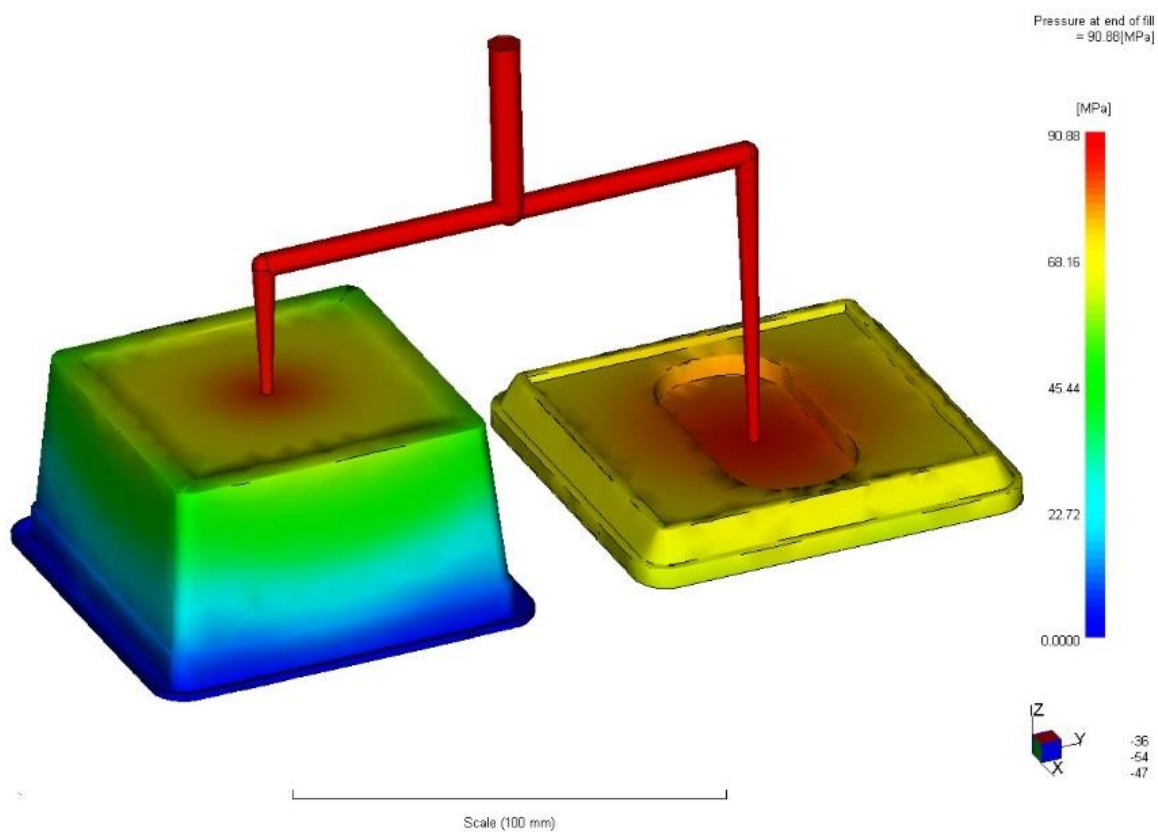
Slika 6.2. Vrijeme punjenja kalupne šupljine



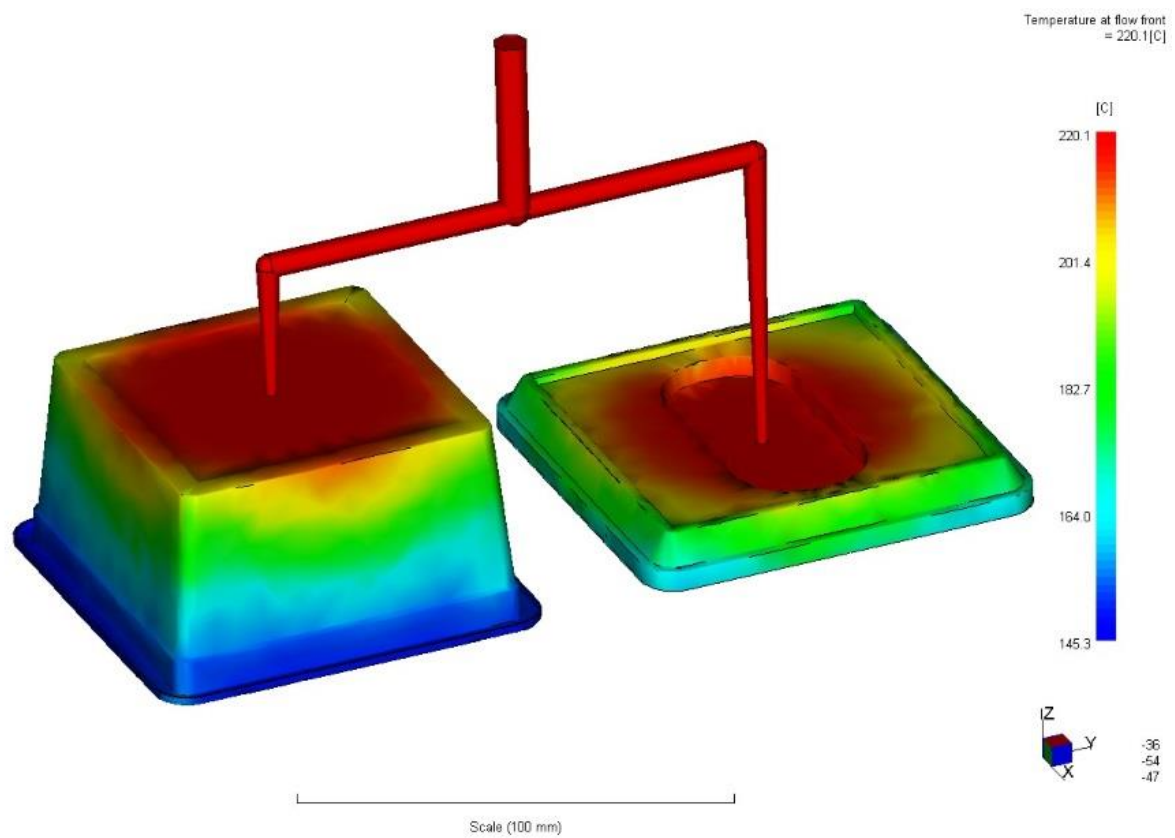
Slika 6.3. Vjerovatnost popunjavanja kalupne šupljine



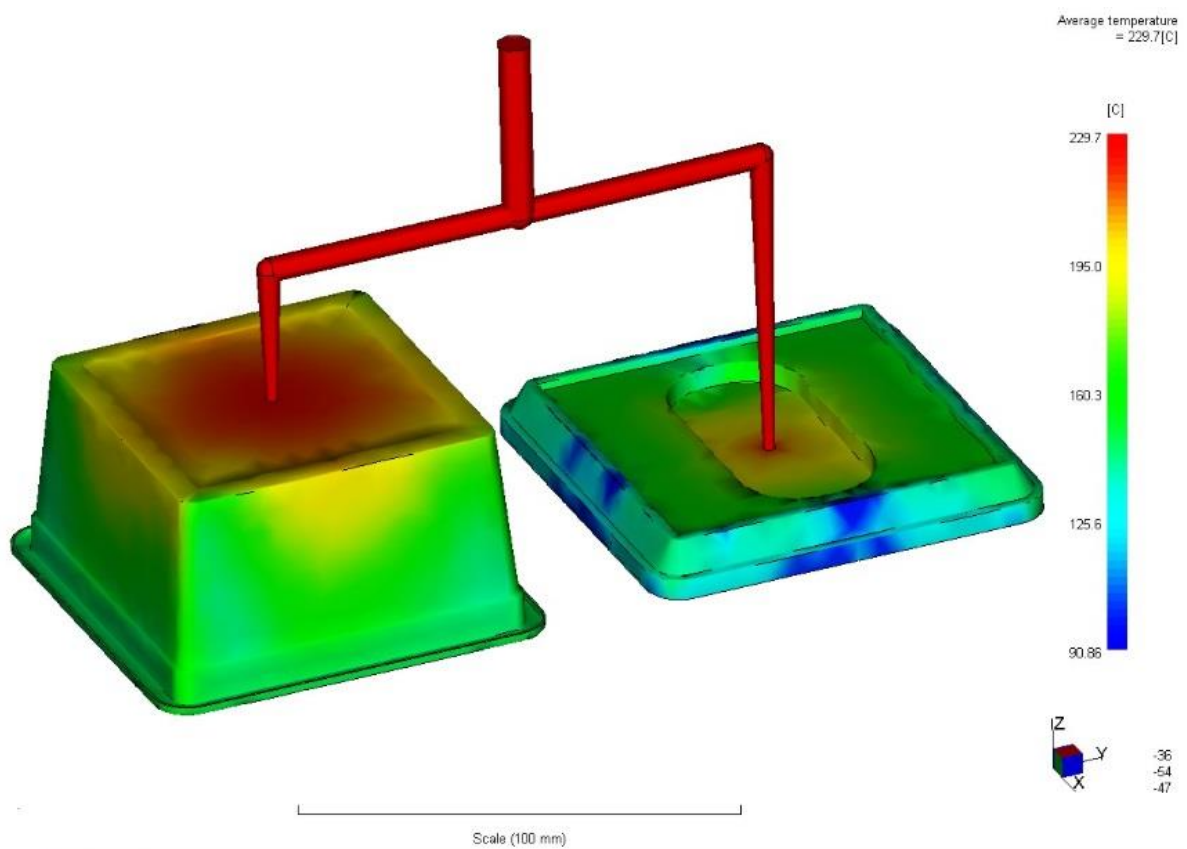
Slika 6.4. Kvaliteta punjenja



Slika 6.5. Tlak u kalupnoj šupljini



Slika 6.6. Temperatura čela taljevine



Slika 6.7. Prosječna temepratura

## **6.2.Koncepcijsko oblikovanje kalupa [8]**

Kod koncepcijskog oblikovanja kalupa koristit će se dijagrami odlučivanja. Takvim dijagramima može se brzo i efikasno odrediti koncepcija kalupa za injekcijsko prešanje polimera bez donošenja krivih odluka. U sljedećim točkama mogu se vidjeti dijagrami uz objašnjenja.

### **6.2.1.Načelno određivanje položaja otpreska u kalupu**

Ovim dijagramom prikazanog na slici 6.8 se definira točan položaj otpreska u kalupu. U dijagramu se odgovara na pitanja sa DA ili NE, dok se ne dođe do predloženog rješenja. Promišljanjem položaja otpreska već u fazi konstruiranja otpreska u kojoj se mora paziti nagibe, podreze, izlaz iz alata ovaj dijagram daje sigurnost i potvrdu ispravne odluke iskusnim i manje iskusnim konstruktorima u realizaciji kalupa.

### **6.2.2.Načelno određivanje tipa kućišta**

Položaj otpreska u kalupu, njegov položaj i izmjere, te broj i raspored kalupnih šupljina izravno određuju vrstu kućišta kalupa. Iako je izbor kalupa uglavnom prepušten iskustvu i intuiciji konstruktora kalupa, temeljem geometrije otpreska, broja i rasporeda kalupnih šupljina moguće je djelomice formalizirati izbor kućišta, što se može vidjeti u dijagramu na slici 6.9.

### **6.2.3.Načelno određivanje uljevnog sustava i ušća kalupa**

Potrebno je definirati radi li se o čvrstom ili vrućem uljevnom sustavu, odnosno njihovoj kombinaciji, zatim se odabire odgovarajuće rješenje unutar definiranog uljevnog sustava. Na slici 6.10 pune linije vode do najpovoljnije i/ili najčešćeg načelnog rješenja, dok isprekidane linije ukazuju na mogućnost izbora i drugog rješenja koje je manje povoljno i rjeđe u primjeni.

#### **6.2.4.Načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa**

Ovom aktivnošću se načelno određuje izbor sustava za temperiranje kalupa. U dijagramu se mogu definirati elementi za temperiranje kalupnih ploča i gnijezda te žigova i kalupnih umetaka. Vidi sliku 6.11.

#### **6.2.5.Načelno određivanje sustava za vađenje grozda iz kalupa**

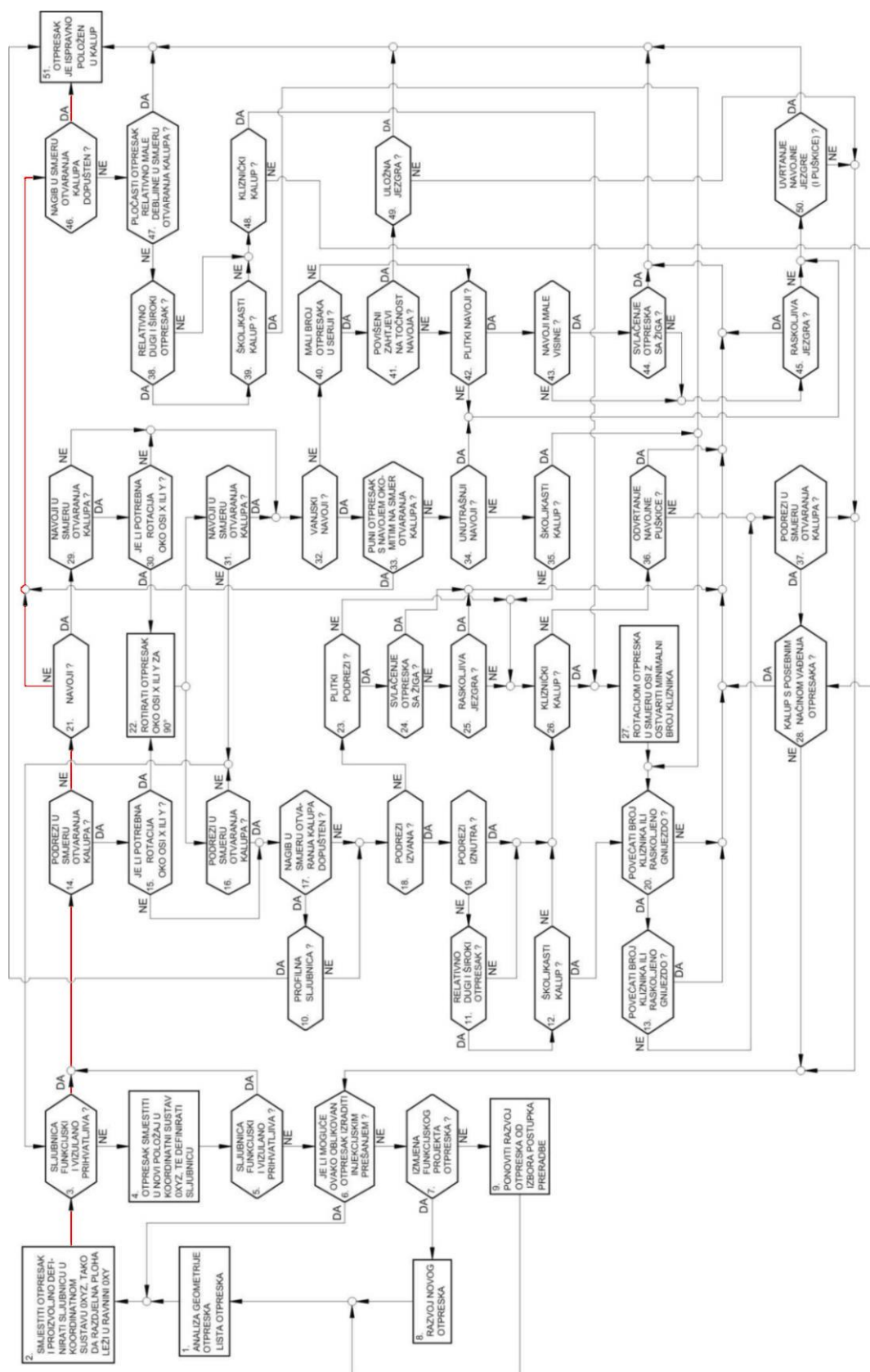
Već pri definiranju položaja otpreska u kalupu pretpostavljeni su neki elementi sustava za vađenje otpreska. Dijagramom sa slike 6.12. dolazi se do rješenja sustava izbacivanja u obliku pločastog izbacivala.

#### **6.2.6.Načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje**

Temeljem analize i opisa poznatih načina vođenja i centriranja elemenata kalupa potrebno je za definirani kalup odrediti konstrukcijska rješenja za ovu funkciju kalupa. Pri tome se trebaju definirati elementi za vanjsko i unutarnje centriranje kalupa te unutrašnje centriranje i vođenje elemenata kalupa.

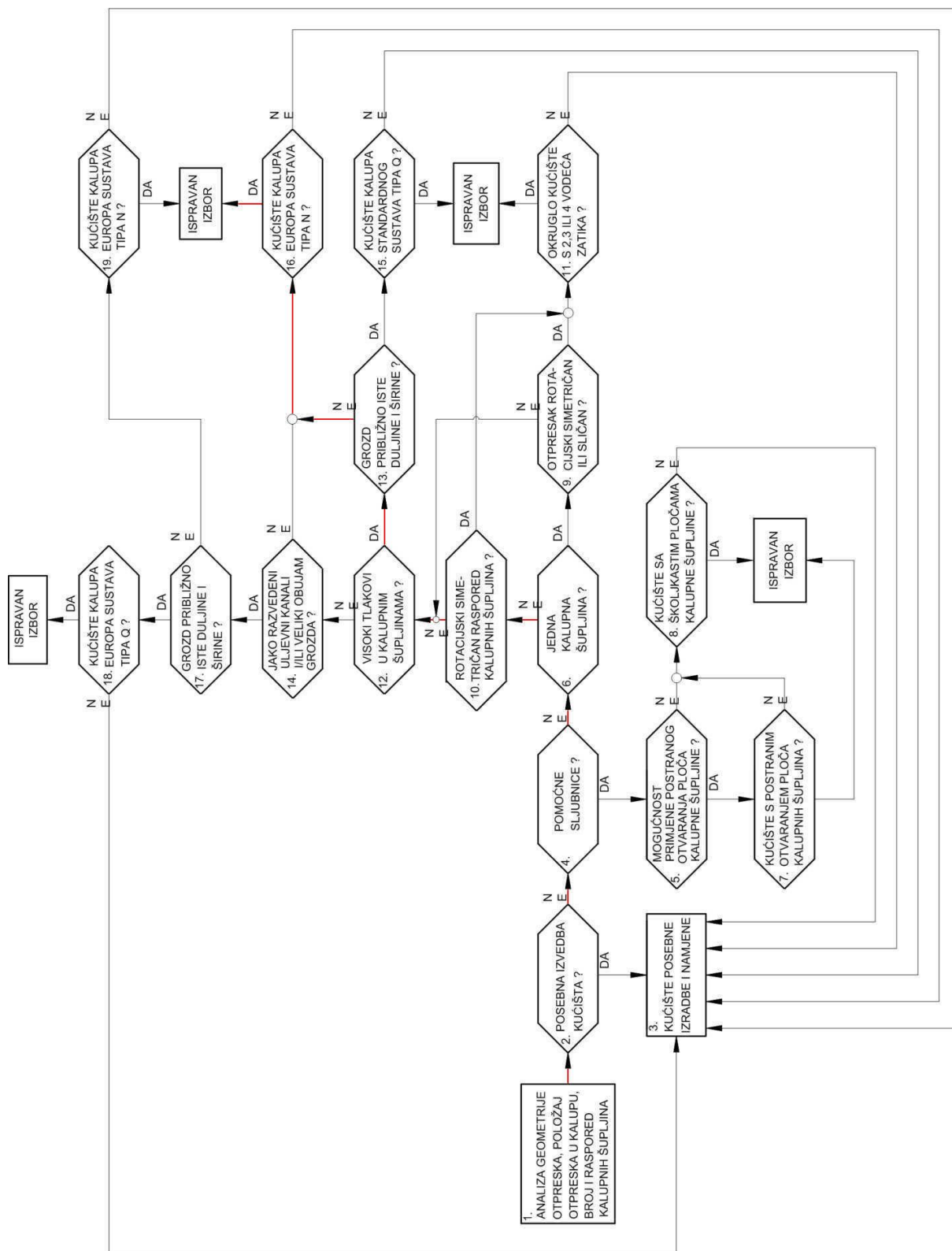
#### **6.2.7.Načelno određivanje sustava za odzračivanje**

Od velike je važnosti odzračivanje kalupa zbog sprečavanja uključine zraka ili usahlina u otpresku čime se narušava njegova stabilnost i estetika. Jednostavan način rješavanja je kroz sljubnicu.



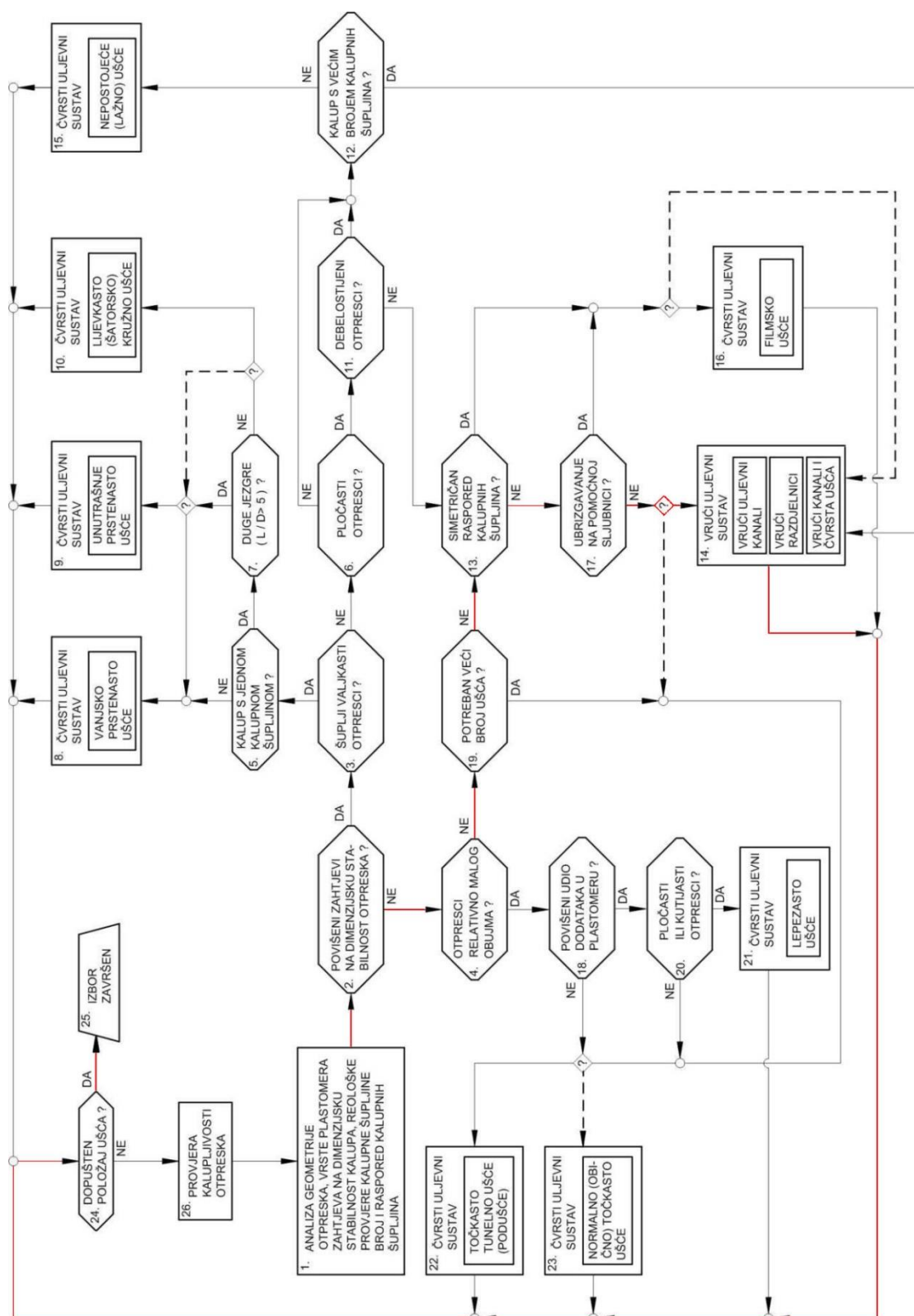
Slika 6.8. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje položaja otpreska



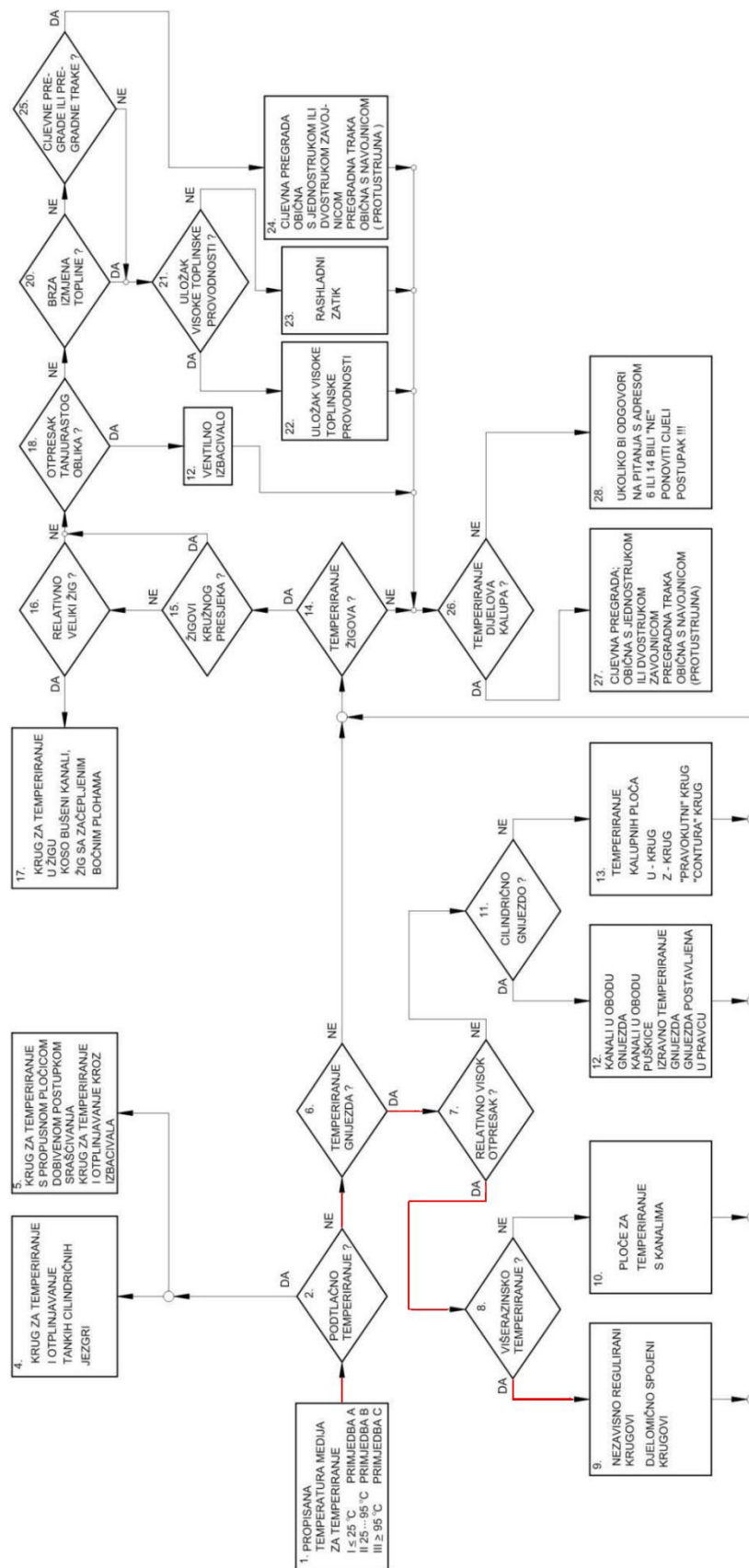


Slika 6.9. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje tipa kućišta kalupa



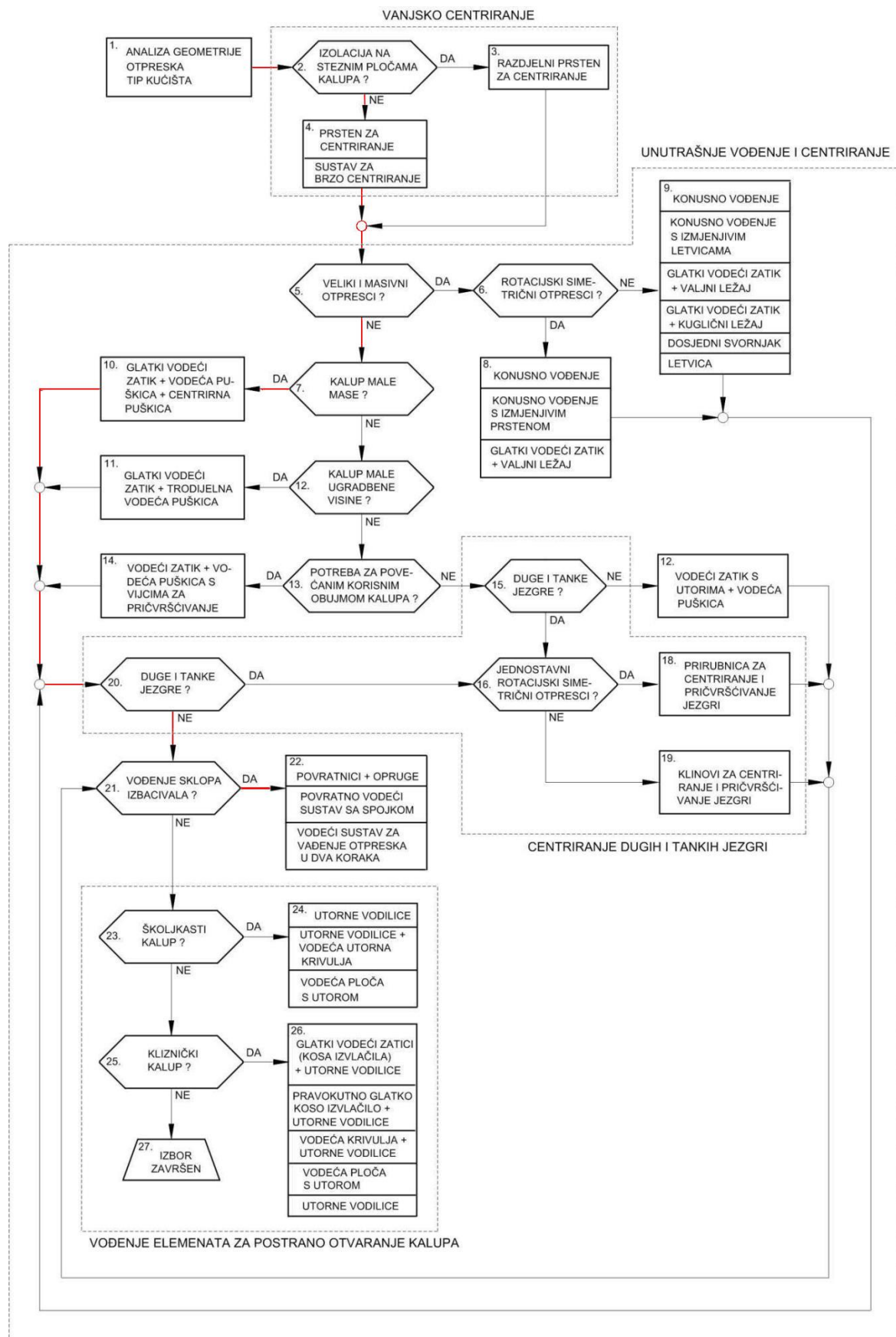


Slika 6.10. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje vrste uljevnog sustava i ušća kalupa

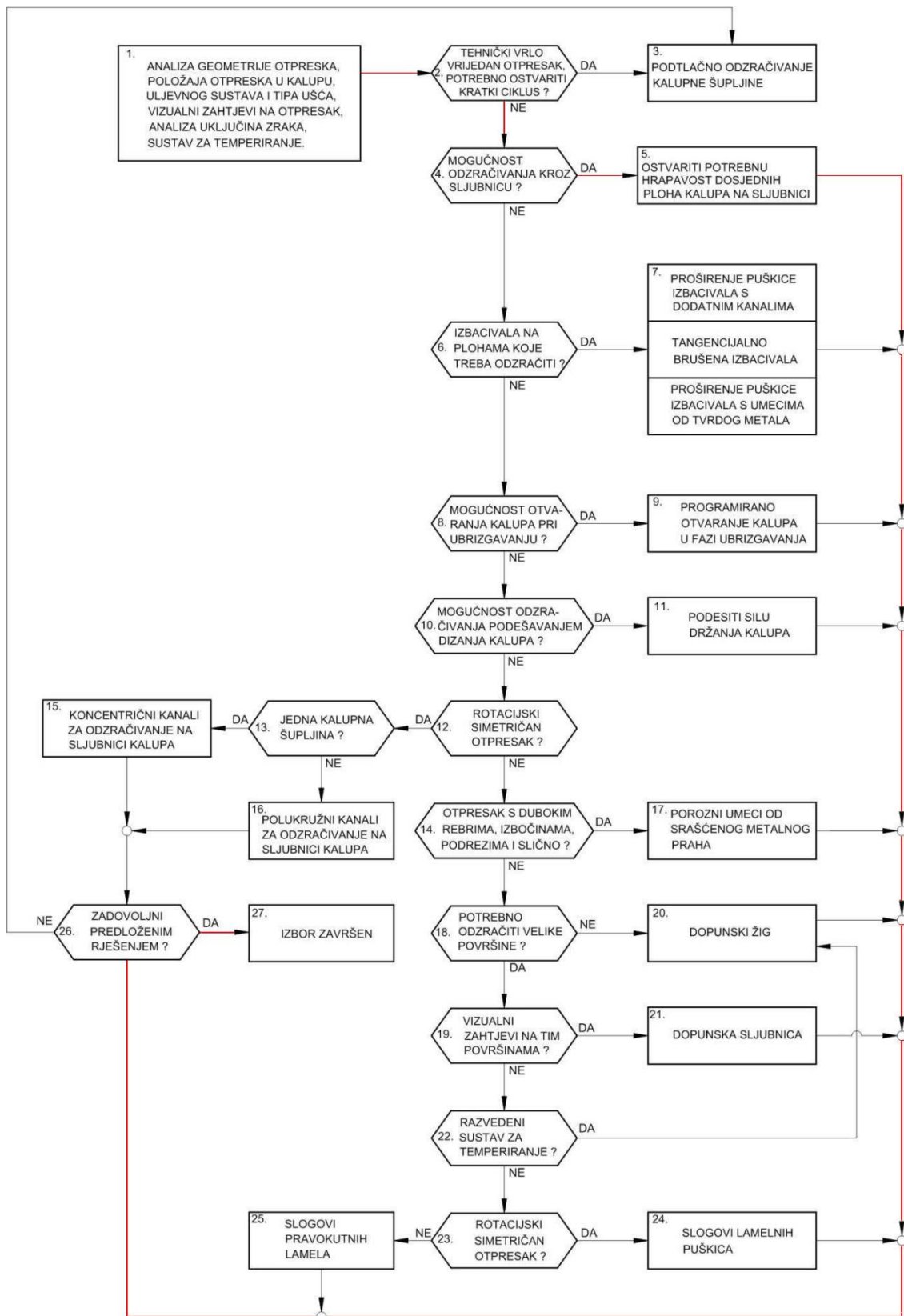


Slika 6.11. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa





Slika 6.13. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje elemenata kalupa



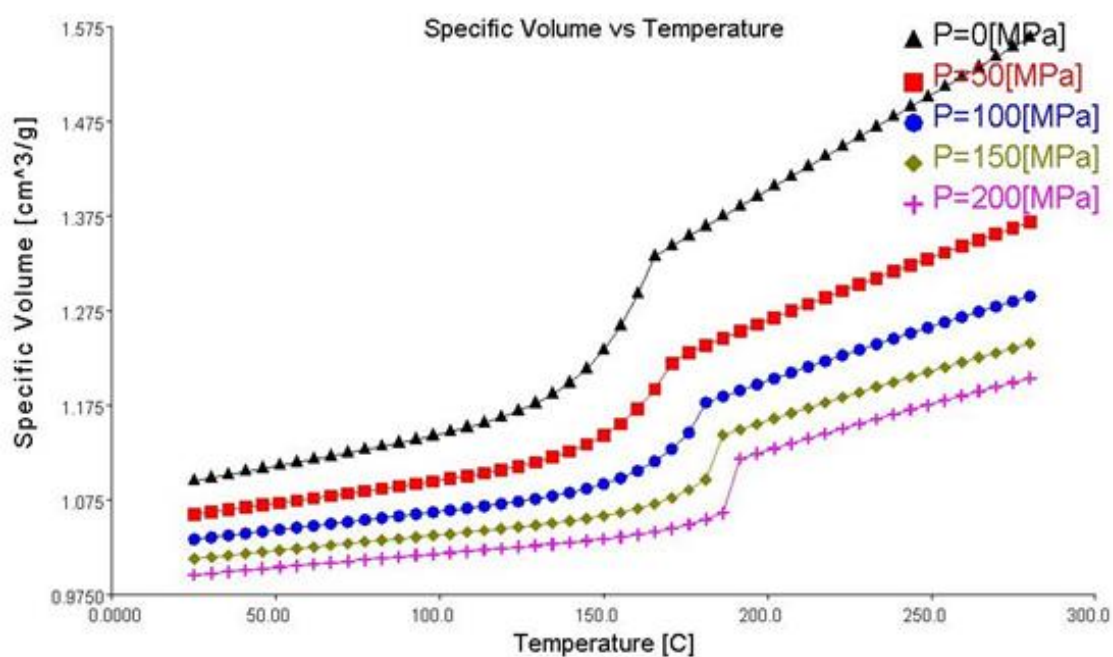
Slika 6.14. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za odzračivanje kalupa

### 6.3. Analitički proračun kalupa za injekcijsko prešanje

Unutar ovog analitičkog proračuna provesti će se reološki, toplinski i mehanički proračun za injekcijsko prešanje poklopca i posude.

#### 6.3.1. Reološki proračun kalupa za injekcijsko prešanje

U okviru reološkog proračuna potrebno je odrediti tlak u kalupnoj šupljini, moguće je rabiti  $p$ - $v$ - $T$  dijagram za prerađivani polimerni materijal. Odabrani materijal za otpresak je PP trgovačkog imena Borealis BH345MO čiji je dijagram prikazan na slici 6.15. Dijagram je dobiven iz podataka pomoću računalnog programa *Moldflow Adviser*.



Slika 6.15. Dijagram  $p$ - $v$ - $T$  za Borealis BH345MO

Na temelju ulaznih podataka, pretpostavljenoj temperaturi otvaranja kalupa i temperaturi postojanosti oblika otpreska moguće je odrediti tlak u kalupnoj šupljini. Pretpostavljena temperatura stijenke kalupne šupljine pri otvaranju kalupa ima vrijednost  $\vartheta_{OK} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura postojanosti oblika  $\vartheta_{PO} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  i specifičnom volumenu  $1.104\text{ cm}^3/\text{g}$  određen je tlak u kalupnoj šupljini od  $p_K = 45\text{ MPa}$  (450 bar).



#### 6.3.1.1. Proračun sile držanja kalupa

Silu držanja kalupa za injekcijsko prešanje računa se prema jednadžbi:

$$F_d = p_K \cdot (S_{ot} + S_{us}) \cdot k$$

gdje su:  $F_d$  - sila držanja kalupa [N],  $p_K$  - pritisak u kalupnoj šupljini u smjeru otvaranja kalupa [N/mm<sup>2</sup>],  $S_{ot}$  – projicirana površina otpreska [mm<sup>2</sup>],  $S_{us}$  - projicirana površina uljevnog sustava [mm<sup>2</sup>],  $k$  - faktor sigurnosti (1,1 do 1,2).

$$p_K = 45 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_{ot} = 18\,725 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_{us} = 0 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$k = 1,2$$

$$F_d = 45 \cdot (18\,725 + 0) \cdot 1,2 = 101\,150 \text{ [N]}$$

Potrebna sila držanja kalupa iznosi 102 [kN] te je izabrana ubrizgavalica Engel Victory 80 sa kojom je moguće ostvariti 280 [kN] što zadovoljava ove uvjete. [12]

#### 6.3.2. Toplinski proračun kalupa

U toplinskom proračunu se preračunavaju parametri postupka injekcijskog prešanja. Neki od njih su vrijeme ciklusa, temperature ciklusa, toplinska bilanca te dimenzioniranje sustava za temperiranje. Kako je kalup izmjenjivač topline, konstruktor kalupa mora biti svjestan da veliku ulogu čini hlađenje /zagrijavanje otpreska koji ponekad čini i do 80 % ciklusa injekcijskog prešanja.

### 6.3.2.1. Vrijeme hlađenja otpreska

Vrijeme hlađenja otpreska je najvažnije vrijeme u ciklusu injekcijskog prešanja. To je vrijeme koje je potrebno za ohlađivanje plastomerne taljevine od temperature pri kojoj se ubrizgalo u kalupnu šupljinu, do temperature pri kojoj se sigurno može izvaditi iz kalupne šupljine tj. do temperature postojanosti oblika. Vrijeme hlađenja otpreska se može odrediti pomoću jednadžbe:

$$\bar{t}_h = \frac{s_o^2}{K_o \cdot a_{ef} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[ K_U \cdot \frac{(T_T - T_K)}{(T_{PO} - T_K)} \right]$$

$s_o$  = karakteristična izmjera otpreska,  $K_o$  – koeficijent oblika ( $K_o = 1 + a_{10}^2 + a_{20}^2$ ),  $T_T$  – temperatura kapljavine (taline),  $T_K$  – temperatura kalupne šupljine,  $T_U$  – temperatura unutrašnjosti (vrijednost koju mora poprimiti središte otpreska ili prosječna temperatura po presjeku). Zamjenjuje se sa temperaturom postojanosti oblika ( $T_{PO}$ ),  $K_U$  – koeficijent unutrašnjosti,  $a_{ef}$  – efektivna toplinska difuznost

Pri određivanju vremena hlađenja otpreska moguće je postaviti dva kriterija. Prvi kriterij je postizanje odgovarajuće temperature postojanosti oblika otpreska u samom središtu otpreska, a drugi kriterij je postizanje prosječne temperature postojanosti oblika otpreska.

Podaci potrebni za proračun vremena hlađenja otpreska su:

- karakteristična izmjera otpreska	$s_o = 0,5 \text{ mm}$
- koeficijent oblika (ploča)	$K_o = 1$
- koeficijent unutrašnjosti	$K_{U1} = 4/\pi$
- koeficijent unutrašnjosti	$K_{U2} = 8/\pi^2$
- temperatura taljevine	$T_T = 518 \text{ K (245 °C)}$
- temperatura stijenke kalupne šupljine	$T_K = 303 \text{ K (30 °C)}$
- temperatura postojanosti oblika	$T_{PO} = 348 \text{ K (75 °C)}$
- koeficijent jednadžbe pravca $a_{ef}$ za ABS	$a_1 = -0,0106 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- koeficijent jednadžbe pravca $a_{ef}$ za ABS	$b_1 = 9,8494 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$



Jednadžba pravca, odnosno efektivna toplinska difuzivnost ABS-a računa se jednadžbom:

$$a_{ef} = a_1 \cdot T_K + b_1$$

$$a_{ef} = 0,0106 \cdot 10^{-8} \cdot 303,15 + 9,8494 \cdot 10^{-8} = 6,63301 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Tablica 6.1. Koeficijent jednadžbe pravca za  $a_{ef} = f(T_K)$  [10]

Plastomer	Koeficijent $a_1 (10^{-8} \text{ m}^2/\text{sK})$	Koeficijent $b_1 (10^{-8} \text{ m}^2/\text{sK})$
ABS	0,042	6,9052
LDPE	-0,0417	21,4513
HDPE	-0,0634	28,0252
PA 6,6	-0,0050	10,3650
PC	0,0045	9,3789
PM	-0,0160	12,5102
POM	-0,0382	19,198
PP	-0,0106	9,8494
PS	-0,093	14,3579
PVC	0,0066	5,1172
SAN	-0,0015	9,0069

Tablica 6.2. Koeficijent oblika i unutrašnjosti za različite oblike otpreska [13]

Oblik otpreska			$\bar{i}_h$	$\bar{\bar{i}}_h$
	$a_{10}$	$a_{20}$	$K_{u1}$	$K_{u2}$
Ploča $b_o = s_o$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$
Cilindar $d_o = s_o$ $l_o = \infty$	0	1,15921	1,599	0,975
Cilindar $d_o = s_o$ $l_o$	1,15956	$d_o / l_o$	$6,396/\pi$	$7,802/\pi^2$
Kugla $d_o = s_o$	1	$\sqrt{2}$	2	1,178
Kvadar $s_o, h_o, l_o$ $l_o$ i $h_o > b_o$	$s_o / h_o$	$s_o / l_o$	$64/\pi^3$	$512/\pi^6$
Kvadar $b_o, h_o$ $l = \infty$	$s_o / h_o$	0	$16/\pi^2$	$64/\pi^4$
Kocka $s_o$	1	1	$64/\pi^3$	$512/\pi^6$
Šuplji cilindar (bez unutrašnjeg hlađenja) $d_v - d_u = s_o$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$
Šuplji cilindar (obostrano hlađen) $(d_v - d_u) / 2 = s_o$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$

- vrijeme hlađenja otpreska do postizanja propisane prosječne temperature postojanosti oblika iznosi:

$$\bar{t}_h = \frac{0,0005^2}{1 \cdot 6,63601 \cdot 10^{-8} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{(518 - 303)}{(348 - 303)} \right] = 0,55 \text{ [s]}$$

U ovom slučaju moguće je odrediti kolika je temperatura postojanosti oblika u središtu otpreska (koeficijent  $K$  iznosi  $4/\pi$ ) [5]:

$$\hat{T}_{PO} = \frac{(\bar{T}_{PO} - T_K)}{K} + T_K$$

$$\hat{T}_{PO} = \frac{(348 - 303)}{\frac{4}{\pi}} + 303,15 = 338,4 \text{ [K]}$$

- vrijeme hlađenja do postizanja temperature postojanosti oblika u središtu otpreska iznosi:

$$\hat{t}_h = \frac{0,0005^2}{1 \cdot 6,63601 \cdot 10^{-8} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[ \frac{4}{\pi} \cdot \frac{(518 - 303)}{(348 - 303)} \right] = 0,7 \text{ [s]}$$

U cilju postizanja što većeg stupnja proizvodnosti, potrebno je izabrati najkraće vrijeme hlađenja otpreska. Ali ipak će se za daljnja razmatranja uzima vrijeme hlađenja otpreska  $t_h = 0,7 \text{ s}$ .

#### 6.3.2.2. Pomoćno vrijeme hlađenja otpreska

Pomoćno vrijeme hlađenja je zbroj različitih vremena:

$$t_p = t_z + t_o + t_{iz} + t_{mp}$$

$t_p$  – pomoćno vrijeme [s],  $t_z$  – vrijeme zatvaranja kalupa [s],  $t_o$  – vrijeme otvaranja kalupa [s],  $t_{iz}$  – vrijeme izbacivanja [s],  $t_{mp}$  – vrijeme približavanja mlaznice

Podaci o vremenima su procjenjeni:

$$t_z = 1 \text{ [s]}$$

$$t_o = 1 \text{ [s]}$$

$$t_{iz} = 1 \text{ [s]}$$

$$t_{mp} = 0,5 \text{ [s]}$$

$$t_p = 1 + 1 + 1 + 0,5 = 3,5 \text{ [s]}$$

Ukupno pomoćno vrijeme iznosi 3,5 s.

#### *6.3.2.3. Određivanje vremena ciklusa injekcijskog prešanja*

Vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja sastoji se od vremena hlađenja otpreska i pomoćnih vremena:

$$t_c = t_h + t_p$$

gdje je  $t_c$  – vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja.

$$t_c = 0,7 + 3,5 = 4,2 \text{ [s]}$$

Ukupno vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja iznosi  $t_c = 4,2$  s.

#### *6.3.2.4. Temperature ciklusa injekcijskog prešanja*

Potrebno je odrediti važnije temperature ciklusa injekcijskog prešanja: početnu temperaturu, dodirnu temperaturu i temperaturu otvaranja kalupa.

Za proračun početne temperature ciklusa, potrebno je odrediti bezdimenzijsku značajku  $A$ :

$$A = \frac{t_h}{2 \cdot t_c}$$

$$A = \frac{0,7}{2 \cdot 4,2} = 0,0833$$

Početna temperatura ciklusa injekcijskog prešanja računa se prema jednadžbi:

$$T_P = \frac{T_K \cdot (b_K + b_p) - (1 - A) \cdot b_p \cdot T_T}{b_K + b_p \cdot A}$$

gdje su:  $b_K$  - toplinska prodornost materijala kalupa [ $Ws^{1/2}m^{-2}K^{-1}$ ],  $b_p$  - toplinska prodornost PP-a [ $Ws^{1/2}m^{-2}K^{-1}$ ].

$$b_K = 10\,168 [Ws^{1/2}m^{-2}K^{-1}]$$

$$b_p = \sqrt{\rho_T \cdot c_p \cdot \lambda_p}$$

gdje su:  $\rho_T$  - gustoća polimerne taljevine [ $kg/m^3$ ],  $c_p$  - specifični toplinski kapacitet polimera [ $J/kgK$ ],  $\lambda_p$  - toplinska provodnost polimera [ $W/mK$ ].

Potrebne veličine:

$$\rho_T = 905 [kg/m^3]$$

$$c_p = 2000 [J/kgK]$$

$$\lambda_p = 0,16 [W/mK]$$

$$b_p = \sqrt{905 \cdot 2000 \cdot 0,16} = 538 [Ws^{1/2}m^{-2}K^{-1}]$$

$$T_P = \frac{303,15 \cdot (10168 + 538) - (1 - 0,08333) \cdot 538 \cdot 518,15}{10168 + 538 \cdot 0,08333} = 292,76[K]$$

Dodirna temperatura je ujedno najviša temperatura koja se postiže na stijenci kalupne šupljine tijekom ciklusa injekcijskog prešanja. Njezinu vrijednost moguće je odrediti prema izrazu:

$$T_D = \frac{b_K \cdot T_P + b_p \cdot T_T}{b_K + b_p}$$

$$T_D = \frac{10168 \cdot 292,8 + 538 \cdot 518,15}{10168 + 538} = 304,12[K]$$

Temperatura otvaranja kalupa određuje se uz pomoć jednadžbe:

$$T_{OK} = 2 \cdot T_K - T_D$$

$$T_{OK} = 2 \cdot 303,15 - 304,12 = 302,18 \text{ [K]}$$

#### *6.3.2.5. Proračun svojstva medija za temperiranje*

Kod određivanja svojstva medija za temperiranje treba se pretpostaviti temperatura medija za temperiranje i odrediti njegova fizička svojstva. U ovom radu, medij za temperiranje bit će uzeta voda. Pri određivanju temperature medija za temperiranje potrebno je pretpostaviti temperaturni gradijent između stijenke kalupa i medija za temperiranje. Pretpostavljeni temperaturni gradijent iznositi će  $\Delta T_{MK} = 20 \text{ [K]}$

$$T_M = T_K - \Delta T_{MK} = 303 - 20 = 283 \text{ [K]}$$

#### *6.3.2.6. Toplinska bilanca kalupa*

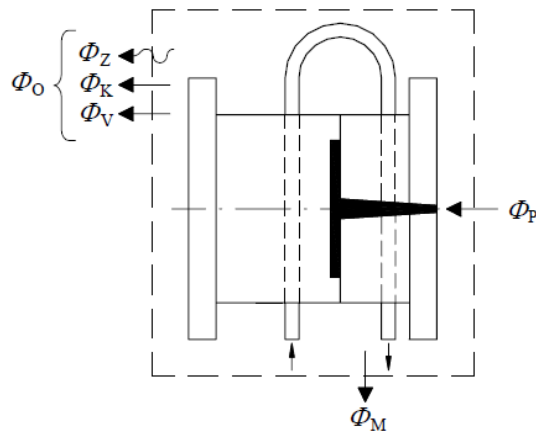
Toplinsku bilancu sačinjavaju toplinski tokovi kroz kalup. Temeljni izraz za proračun toplinske bilance je jednadžba:

$$\phi_P + \phi_O + \phi_M = 0$$

$\phi_P$  – toplinski tok između plastomerne taljevine i kalupa,

$\phi_O$  – toplinski tok između okoline i kalupa (zračenjem, konvekcijom i provođenjem),

$\phi_M$  – toplinski tok između medija za temperiranje i kalupa.



Slika 6.16. Toplinska bilanca kalupa [8]

Okolina i medij za temperiranje mogu dovoditi ili odvoditi kalupu toplinu, ovisno o pripadajućim temperaturama, što znači da vrijednosti  $\phi_O$  i  $\phi_M$  mogu poprimiti pozitivne ili negativne predznake. Plastomerna taljevina uvijek dovodi kalupu toplinu i predznak je stoga pozitivan.

Nova jednačba za toplinsku bilancu glasi:

$$\phi_P \pm \phi_O \pm \phi_M = 0$$

Toplinski tok predan od plastomerne taljevine

$$\phi_P = \frac{m_g \cdot (h_2 - h_1)}{t_c}$$

$m_g$  - masa grozda [kg],  $h_2$  - specifična entalpija pri temperaturi i tlaku preradbe [J/kg],  $h_1$  - specifična entalpija pri prosječnoj temperaturi otpreska u trenutku njegova napuštanja kalupa [J/kg]

$$(h_2 - h_1) = [(a_3 \cdot T_T + b_3) - (a_2 \cdot T_{PO} + b_2)]$$

gdje su:  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_2$  i  $b_3$  koeficijenti za izračunavanje razlike specifične entalpije.

$$(h_2 - h_1) = [(2,963 \cdot 518,15 - 810,37) - (2,088 \cdot 348,15 - 611,71)] = 609\,681 \text{ [J/kg]}$$

$$\phi_P = \frac{0,017195 \cdot 609\,681}{4,2} = 2496 \text{ [W]}$$

Toplinski tok izmijenjen s okolinom

$$\phi_O = \phi_{St} + \phi_{Slj} + \phi_V$$

gdje su:  $\phi_{St}$ - toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz stranice kalupa u jedinici vremena [W],  $\phi_{Slj}$  - toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz sljubnicu kalupa u jedinici vremena [W],  $\phi_V$  - toplina izmijenjena provođenjem kroz nosače kalupa ubrizgavalice u jedinici vremena [W].

$$\phi_{St} = 2 \cdot A_1 \cdot \alpha_{st}^* \cdot (T_{VK} - T_O)$$

gdje su:  $A_1$  - površina jedne stranice kalupa [ $m^2$ ],  $\alpha_{st}^*$  - korigirani koeficijent toplinske prijelaznosti (obuhvaća zračenje i konvekciju) [ $W/m^2K$ ],  $T_{VK}$  - temperatura vanjske stijenke kalupa [K],  $T_O$  - temperatura okoline [K].

Temperatura vanjske stijenke kalupa se može računati pomoću 2 izraza:

$$T_{VK} = T_O + 0,725 \cdot T_M - 211,4$$

$$T_{VK} = 0,427 \cdot T_O + 0,823 \cdot T_M - 68,96$$

gdje su:  $T_M$  – temperatura medija,  $T_O$  - temperatura okoline (propisana na 298,15 K).

$$T_{VK} = 298,15 + 0,725 \cdot 283,15 - 211,4 = 292,03 \text{ [K]}$$

$$T_{VK} = 0,427 \cdot 298,15 + 0,823 \cdot 283,15 - 68,96 = 291,38 \text{ [K]}$$

Za daljnji proračun uzima se vrijednost koja daje veći temperaturni gradijent  $T_{VK} - T_O$ . U tom slučaju uzima se vrijednost  $T_{VK} = 292,03 \text{ [K]}$ .

Za izmijenjenu toplinu s okolinom potrebno je također odrediti toplinsku prijelaznost zračenjem:

$$\alpha_Z = \varepsilon_Z \cdot C_Z$$

gdje su:  $\varepsilon_Z$  – sposobnost zračenja realnog tijela,  $C_Z$  – zračivost apsolutno crnog tijela.

- $\varepsilon_Z = 0,25$
- $C_Z = 5,67 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

$$\alpha_Z = 0,25 \cdot 5,667 = 1,41675 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Toplinska prijelaznost uslijed zračenja i konvekcije:

$$\alpha_{St} = \alpha_Z + \alpha_K$$

gdje su:  $\alpha_{St}$  - toplinska prijelaznost uslijed zračenja i konvekcije,  $\alpha_K$  - toplinska prijelaznost konvektivne izmjene topline ( $\alpha_K = 15 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ ).

$$\alpha_{St} = 1,41675 + 15 = 16,41675 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Površine kalupa potrebne za toplinski proračun:

$$A_1 = L_K \cdot H_K$$

gdje su:  $A_1$  – površina bočne plohe kalupa,  $L_K$  – dužina kalupa,  $H_K$  – visina kalupa.

$$A_1 = 0,374 \cdot 0,246 = 0,092004 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_2 = L_K \cdot H_{K1}$$

gdje su:  $A_2$  – površina donje plohe kalupa,  $L_K$  – dužina kalupa,  $H_{K1}$  – visina kalupa.

$$A_2 = 0,374 \cdot 0,196 = 0,073304 \text{ [m}^2\text{]}$$



Korigirana vrijednost toplinske prijelaznosti zračenja i konvekcije se određuje prema izrazu:

$$\alpha_{st}^* = \frac{A_1 + A_2}{A_1} \cdot \alpha_{st}$$

$$\alpha_{st}^* = \frac{0,092004 + 0,073304}{0,092004} \cdot 16,41675 = 29,49 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Toplina izmijenjena konvekcijom i zračenjem s okolinom iznosi:

$$\phi_{st} = 2 \cdot 0,02004 \cdot 29,49 \cdot (292,03 - 298,15) = -33,2 \text{ [W]}$$

Toplina izmijenjena između kalupa i steznih ploča ubrizgavalice:

$$\phi_v = 2 \cdot A_{KS} \cdot \beta_v^* \cdot (T_{VK} - T_O)$$

- $A_{KS}$  - tlocrtna površina steznih ploča ubrizgavalice [ $\text{m}^2$ ] ( $A_{KS} = H_K \cdot B_K$ );
- $\beta_v^*$  - korigirani faktor proporcionalnosti koji približno odgovara toplinskoj prijelaznosti [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$$\beta_v^* = \frac{H_K + B_K}{B_K} \cdot \beta_v = \frac{0,246 + 0,296}{0,296} \cdot 85 = 155,64 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$H_K$  - širina stezne ploče kalupa

$B_K$  - visina stezne ploče kalupa

$\beta_v$  - faktor proporcionalnosti ( $\beta_v = 85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )

Toplina izmijenjena između kalupa i steznih ploča ubrizgavalice mehanizmom provođenja iznosi:

$$\phi_v = 2 \cdot 0,246 \cdot 0,296 \cdot 155,64 \cdot (292,03 - 298,15) = -138,71 \text{ [W]}$$

Ukupna toplina koju kalup izmijeni s okolinom iznosi:

$$\phi_O = \phi_{st} + \phi_{slj} + \phi_v$$

$$\phi_O = -33,2 + 0 - 138,71 = -171,91 \text{ [W]}$$

Kako okolina odvodi toplinu, taj iznos dobiva negativni predznak, odnosno s druge strane jednakosti, pozitivan predznak.

$$\pm\phi_M = -\phi_P + \phi_O$$

$$\phi_M = -2496 - 172 = -2668 \text{ [W]}$$

Ovo je toplina koju medij za temperiranje treba odvesti od kalupa, kako bi se u njemu održalo propisano temperaturno polje.

#### 6.3.2.7 Izmjere i parametri sustava za temperiranje

Promjer kanala za temperiranje

Promjer kanala za temperiranje izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$d_{KT} = \frac{b_O}{n_{KT} \cdot x_{KT} \cdot \pi}$$

gdje su:  $b_O$  - širina otpreska,  $n_{KT}$  - broj kanala za temperiranje,  $x_{KT}$  - faktor površine kanala za temperiranje.

Podaci potrebni za proračun:

$$n_{KT} = 4$$

$$x_{KT} = 1$$

$$b_O = 0,0975$$

$$d_{KT} = \frac{0,0975}{4 \cdot 1 \cdot \pi} = 0,00775 \text{ [mm]}$$

Vrijednost promjera kanala za temperiranje se zaokružuje na  $d_{KT} = 8 \text{ [mm]}$ .

Površina kanala za temperiranje

Površina kanala za temperiranje se određuje prema sljedećem izrazu:

$$A_{KT} = d_{KT}^* \cdot l_{KT} \cdot n_{KT} \cdot \pi$$

gdje je  $l_{KT}$  - duljina kanala za temperiranje.

$$A_{KT} = 0,008 \cdot 1,128 \cdot 4 \cdot \pi = 0,1134 \text{ [m}^2\text{]}$$

Debljina stijenke kalupne šupljine

Ovaj korak služi da bi se došlo do optimalne debljine stijenke kalupne šupljine. Rabiti će se četiri različita kriterija.

*Prvi kriterij* (debljina stijenke kalupne šupljine izračunava se na temelju dopuštenog smičnog naprezanja materijala kalupnih ploča):

$$s_K = \frac{3 \cdot p_K \cdot d_{KT}}{4 \cdot \tau_{dop}}$$

gdje su:  $s_K$  - debljina stijenke kalupne šupljine,  $\tau_{dop}$  – dopušteno smično naprezanje  
npr.  $\tau_{dop} = 80 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$$s_K = \frac{3 \cdot 45 \cdot 8}{4 \cdot 80} = 3,375 \text{ [mm]}$$

*Drugi kriterij* (debljina stijenke izračunava se na temelju dopuštenog savojnog naprezanja):

$$s_K = \sqrt{\frac{p_K \cdot d_{KT}^2}{2 \cdot \sigma_{dop}}}$$

gdje je npr.  $\sigma_{dop} = 120 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$$s_K = \sqrt{\frac{45 \cdot 8^2}{2 \cdot 120}} = 3,46 \text{ [mm]}$$

*Treći kriterij* - debljina stijenke kalupne šupljine izračunava se na temelju toplinskog toka akumulirane topline. Pri tome treba izračunati toplinski tok dovođenja topline, a s pomoću njega se određuje toplinski tok akumulirane topline. Toplinski tok dovođenja topline izračunava se prema sličnom izrazu kao i toplina dovedena kalupu plastomernom taljevinom, s tom razlikom da se u ovom izrazu u nazivniku pojavljuje vrijeme hlađenja otpreska:

$$\phi_{PD} = \frac{m_g \cdot (h_2 - h_1)}{t_h} = \frac{0,017195 \cdot 609681}{0,7} = 14\,976,4 \text{ [W]}$$

Toplinski tok akumulirane topline:

$$\phi_A = \phi_{PD} + \phi_O + \phi_M$$

$$\phi_A = 14\,977 - 172 - 2668 = 12\,137[\text{W}]$$

Za proračun debljine stijenke kalupne šupljine treba pretpostaviti temperaturni gradijent između temperature stijenke kanala za temperiranje i temperature stijenke kalupne šupljine. Razlika treba biti što manja, uz uvjet da je temperatura stijenke kanala za temperiranje viša od početne temperature ciklusa injekcijskog prešanja. U ovom slučaju izabire se vrijednost  $T_{KT} = 298,5 [\text{K}]$ .

Ostali podaci potrebni za proračun su:

- specifični toplinski kapacitet materijala kalupnih ploča  $c_K = 460 \text{ J/kgK}$
- gustoća materijala kalupnih ploča  $\rho_K = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ .

$$s_K = \frac{\phi_A \cdot t_c}{b_o \cdot l_K \cdot c_K \cdot \rho_K \cdot (T_K - T_{KT})}$$

$$s_K = \frac{12\,137 \cdot 4,2}{0,0975 \cdot 1,128 \cdot 460 \cdot 7850 \cdot (303 - 298,5)} = 0,028 [\text{m}]$$

*Četvrti kriterij* (debljina stijenke izračunava se na temelju minimalnog i maksimalnog kuta izoterma u kalupnoj ploči):

$$s_{K_{\max}} = \left( \frac{b_o}{n_{KT} \cdot \tan \beta_{\min}} - d_{KT} \right) \cdot 0,5$$

$$s_{K_{\min}} = \left( \frac{b_o}{n_{KT} \cdot \tan \beta_{\max}} - d_{KT} \right) \cdot 0,5$$

gdje je:  $\beta_{\min}$  - minimalni kut izoterma,  $\beta_{\min} = 25^\circ$ .

$\beta_{\max}$  - maksimalni kut izoterma,  $\beta_{\max} = 30^\circ$ .

$$s_{K_{\max}} = \left( \frac{97,5}{4 \cdot \tan 25^\circ} - 8 \right) \cdot 0,5 = 22,13 \text{ [mm]}$$

$$s_{K_{\min}} = \left( \frac{97,5}{4 \cdot \tan 30^\circ} - 8 \right) \cdot 0,5 = 17,1 \text{ [mm]}$$

U ovom slučaju izabire se treći kriterij i debljina stijenke kalupne šupljine  $s_K = 28 \text{ [mm]}$ .

Provjera progiba za izabrani  $s_K$ :

- dopušteni progib stijenke kalupne šupljine  $f_{\text{dop}} = 10^{-3} \text{ [mm]}$
- modul rastezljivosti materijala kalupne šupljine  $E_r = 210\,000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
- modul smičnosti materijala stijenke kalupne šupljine  $G = 81\,000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$$f_{\max} \leq \frac{p_K \cdot d_{KT}^2}{s_K} \cdot \left( \frac{d_{KT}^2}{32 \cdot E_r \cdot s_K^2} + \frac{0,15}{G} \right)$$

$$f_{\max} \leq \frac{45 \cdot 8^2}{28} \cdot \left( \frac{8^2}{32 \cdot 210\,000 \cdot 28^2} + \frac{0,15}{81\,000} \right) = 1,917 \cdot 10^{-4} \text{ [mm]}$$

Maksimalni progib je znatno manji od dopuštenog te se usvaja  $s_K = 28 \text{ [mm]}$ .

Brzina protoka medija za temperiranje

Prvo treba izračunati toplinsku prijelaznost medija za temperiranje.

$$\alpha_w = \frac{1}{\frac{x_s}{\phi_M} \cdot A_{KT} \cdot (T_K - T_M) - \frac{s_K}{\lambda_K}}$$

gdje su:  $\alpha_w$  - toplinska prijelaznost medija za temperiranje (vode),  $x_s$  - faktor simetričnosti izmjene topline.

$$\alpha_w = \frac{1}{\frac{2}{2668} \cdot 0,1417 \cdot (303 - 23) - \frac{0,028}{52}} = 630,5 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$Re = \left( \frac{\alpha_w}{Pr_w^{0,42} \cdot \left(1 + \frac{d_{KT}}{l_K}\right)^{0,67} \cdot 0,037 \cdot \frac{\lambda_w}{d_{KT}}} + 180 \right)^{\frac{1}{0,75}}$$

$$Re = \left( \frac{630,5}{5,41^{0,42} \cdot \left(1 + \frac{0,008}{1,128}\right)^{0,67} \cdot 0,037 \cdot \frac{0,615}{0,008}} + 180 \right)^{\frac{1}{0,75}} = 1906,9$$

Brzina protoka medija za temperiranje računa se uz pomoć jednadžbe:

$$v_w = \frac{Re \cdot v_w}{d_{KT}}$$

$$v_w = \frac{1906,9 \cdot 0,805 \cdot 10^{-6}}{0,008} = 0,1919 \text{ [m/s]}$$

Brzina protoka vode za temperiranje treba biti jednaka ili veća od 0,2 m/s.

### **6.3.3.Mehanički proračun kalupa**

Unutar mehaničkog proračuna kalupa potrebno je izračunati kinematiku kalupa te odrediti izmjere i deformacije pojedinih elemenata kalupa koji su mehanički opterećeni.

#### *6.3.3.1.Visina otvaranja kalupa*

Potrebno je odrediti hod otvaranja kalupa koji osigurava nesmetano vađenje otpreska iz kalupa.

$$h_{OK} = 2 * h_{op} + h_d$$

gdje su:  $h_{OK}$  - potrebno otvaranje kalupa [m],  $h_{op}$  - visina otpreska u pomičnom dijelu kalupa [m],  $h_d$  - dodatno otvaranje kalupa [m].

$$h_{op} = 49[\text{mm}]$$

$$h_d = 5 [\text{mm}]$$

$$h_{OK} = 2 * 49 + 5 = 103 [\text{mm}]$$

#### *6.3.3.2.Minimalni razmak između steznih ploča ubrizgavalice*

Ovaj dio proračuna pokazuje minimalni razmak između steznih ploča ubrizgavalice.

$$h_{Umin} = h_{OK} + L_K$$

gdje je:  $L_K$  - visina (duljina) kalupa.

$$h_{Umin} = 103 + 374 = 477[\text{mm}]$$

#### *6.3.3.3.Duljina puta izbacivala*

Sljedećim izrazom izračunava se potrebna duljina puta izbacivala otpreska, koja je potrebna da bi se otpresak sigurno izbacio iz kalupa.

$$h_i = h_{op} + h_d$$

gdje su:  $h_i$  - duljina puta izbacivala ,  $h_{di}$  - dopunski (sigurnosni) hod izbacivala.

$$h_i = 49 + 5 = 54 \text{ mm}$$

#### *6.3.3.4.Sila vađenja otpreska iz kalupa*

Potrebna sila vađenja otpreska iz kalupa izračunava se sljedećim izrazom:

$$F_V = \mu \cdot p_K \cdot A_O$$

gdje je:  $A_O$  - površina elemenata kalupne šupljine u dodiru s otpreskom [ $\text{m}^2$ ].

Podaci potrebni za proračun:

$$\mu = 0,2$$

$$A_O = 38\,000 [\text{mm}^2]$$

$$p_K = 45 \text{ [MPa]}$$

$$F_V = 0,2 \cdot 45 \cdot 38\,000 = 342 [\text{kN}]$$

#### *6.3.3.5.Dimenzioniranje sustava za odzračivanje kalupa*

Tijekom faze konceptijskog oblikovanja kalupa određeno je odzračivanje putem hrapavosti kalupnih ploča na sljubnici pri čemu treba omogućiti izlazak zraka iz kalupne šupljine, a spriječiti izlazak taljevine. Potrebna hrapavost će se ostvariti tijekom same izradbe kalupa, te nije potreban proračun sustava za odzračivanje.



#### 6.3.3.6. Proračun krutosti kalupa okomito na smjer otvaranja

Pri određivanju krutosti kalupa okomito na smjer otvaranja potrebno je definirati elastičnu deformaciju kalupne šupljine, čiji iznos ne smije prelaziti iznose stezanja plastomerne taljevine. Za ovaj proračun moguće je rabiti i izraz za omjer između naprezanja i deformacija:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_r} = \frac{p_K}{E_r} = \frac{45}{21 \cdot 10^4} = 0,000214 \%$$

Kako stezanje PP-a iznosi 1 %, što je daleko veći iznos od deformacije kalupne šupljine, zadovoljen je kriterij krutosti kalupa okomito na smjer otvaranja kalupa.

#### 6.3.3.7. Proračun debljine temeljne ploče

Debljina temeljne ploče računa se pomoću izraza:

$$h_{tp} = \left( \frac{5}{32} \cdot \frac{F_d \cdot b_{tp}^3}{l_{tp} \cdot f_{tp} \cdot E_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

gdje su:  $h_{tp}$  - debljina (visina) temeljne ploče [mm],  $F_d$  - sila držanja kalupa [N],  $b_{tp}$  - razmak između odstoynih letvi kalupa [mm],  $l_{tp}$  - duljina temeljne ploče [mm],  $f_{tp}$  - dopušteni progib temeljne ploče [mm].

Podaci potrebni za proračun su sljedeći:

- duljina temeljne ploče.....  $l_{tp} = 296$  [mm]
- dopušten progib temeljne ploče.....  $f_{tp} = 0,01$  [mm]
- razmak između odstoynih letvi.....  $b_{tp} = 110$  [mm]

$$h_{tp} = \left( \frac{5}{32} \cdot \frac{101\,150 \cdot 110^3}{296 \cdot 0,01 \cdot 210\,000} \right)^{\frac{1}{3}} = 32,34 \text{ [mm]}$$

Za temeljnu ploču izabrana je standardna ploča visine 36 mm.

## 7. PRORAČUN NEPOTPUNE CIJENE KOŠTANJA OTPRESKA

Glavni cilj svakog poduzeća je maksimiranje profita tj. omjera između dobivenog i uloženog. Tako i kod razvoja otpreska i kalupa treba predvidjeti, odnosno proračunati njegovu cijenu da bi se mogla vidjeti isplativost tog proizvoda.

### 7.1. Struktura nepotpune cijene proizvoda [14]

Osnovnu strukturu nepotpune cijene koštanja otpreska, čiji će elementi biti obrađeni u radu čine:

troškovi kalupa:

- troškovi konstruiranja
- troškovi izradbe kalupa
- troškovi eksploatacije

troškovi eksploatacije (proizvodnje), koje čine:

- troškovi materijala
- troškovi mehanizacije (ubrizgavalice i dodatne opreme)
- troškovi radne snage
- troškovi održavanja.

Tablica 7.1. Osnovni podaci i cijene

Ukupna količina polimernih otpresaka	500 000 kom
Veličina serije	100 000 kom
Masa otpresaka	17,2 g
Masa uljevnog sustava	0 g
Cijena polimernog materijala	13,8 kn/kg
Cijena kalupa	93 800 kn
Trošak strojnog sata ubrizgavanja	60 kn/h
Trošak radnog sata radnika	50 kn/h
Predvidivi dio škarta	1%
Pouzdanost postupka	99%
Pripremno-završno vrijeme	2 h

Tablica 7.2. Standardni elementi kalupa [15]

Redni broj	Naziv standardnog elementa	Standard Hasco	Kol.	Jedinična cijena (€)	Konačna cijena (€)
1	Nepomična stezna ploča	K10/196x296x27/1.1730	1	138,54	138,54
2	Odstojna letva	K30/196x296x56/1.1730	1	178,94	178,94
3	Nepomična kalupna ploča	K20/196x296x96/1.1730	1	275,87	275,87
4	Pomična kalupna ploča	K20/196x296x36/1.1730	1	141,56	141,56
5	Pomična kalupna ploča	K30/196x296x36/1,1730	1	137,92	137,92
6	Odstojan letva	K40/196x296x96/1.1730	2	62,45	124,9
7	Pomična stezna ploča	K10/196x296x27/1.1730	1	133,09	133,09
8	Ploča izbacivala/ potisna ploča	K60/70/196x296x12/17	1	127,05	127,05
9	Vijak	Z31/8x16	4	0,22	0,88
10	Vijak	Z30/12x130	4	2,76	11,04
11	Centrirna puškica	Z20/30x140	4	14,80	59,2
12	Vodeća puškica	Z10/36/24	4	13,55	54,2
13	Vodeći stup	Z00/96/24x55	4	26,51	106,04
14	Vijak	Z31/12x16	4	0,89	3,56
15	Prsten za centriranje	K100/90x13	1	23,41	23,41
16	Grijač	Z1055_1_30x56_8	1	500	500
17	Vijak	Z30/4x16	4	0,15	0,6
18	Vrući razdjelni blok	H106_1_71x224_46	1	2200	2200
19	Vruća mlaznica	Z3410_32x100	1	937,48	937,48
20	Vruća mlaznica	Z3410_32x63	1	870,51	870,51
21	Spirala za hlađenje	Z961_50x125	2	38,75	77,5
22	Gumica	Z98_59_3	2	2,61	5,22
23	Priključak za temperiranje	Z81_9_10x1	8	0,76	6,08
24	Čep za temperiranje	Z941_10x1	2	0,83	1,66
25	Priključak za temperiranje	Z90x9x120	4	2,44	9,76
26	Vijak	Z30_6x35	8	0,19	1,52
27	Vodeća puškica sa grafitom	Z13W_17_14	2	31,77	63,54
28	Povratnik	Z441_2_5x160	4	8,38	33,52
29	Vodeći stup	Z00/22/14x90	2	11,71	23,42
CIJENA STANDARDNIH DIJELOVA U EURIMA					6247,08 €
CIJENA STANDARDNIH DIJELOVA U KUNAMA					46 300 Kn

Cijena standardnih dijelova kalupa iznosi  $C_{sd} = 46300$  Kn.

Cijena nestandardnih dijelova kalupa iznosi  $C_{om} = 6000$  Kn.

Cijena obradbe i konstrukcije kalupa iznosi  $C_{iz} = 38000$  Kn.

Ostali troškovi izradbe kalupa  $C_{kos} = 3500$  Kn.

Ukupni trošak izradbe kalupa računa se prema sljedećem izrazu:

$$C_k = C_{om} + C_{iz} + C_{sd} + C_{kos}$$

$C_k$  - ukupni trošak izradbe kalupa

$$C_k = 6000 + 38000 + 46300 + 3500 = 93800 \text{ kn}$$

Cijena kalupa iznosi 93800 kuna.

## **7.2. Određivanje cijene materijala za jedan otpresak**

Stvarni jedinični trošak materijala:

$$A = \frac{(m_g - m_{us} \cdot S_{pp})}{n_{kš}}$$

$$A = \frac{(17,2 - 0 \cdot 0)}{1} = 17,2 \text{ [g]}$$

Stvarni jedinični gubitak materijala zbog škarta:

$$B = m_o \cdot S_u \cdot (1 - S_{up})$$

$$B = 17,2 \cdot 0,02 \cdot (1 - 0) = 0,34 \text{ [g]}$$

Cijena materijala za jedan otpresak:

$$C_{mo} = C_{om} \cdot (A + B)$$

$$C_{mo} = 0,0138 \cdot (17,2 + 0,34) = 0,242 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{otpresku}} \right]$$

Ukupna cijena materijala za proizvodnu seriju:

$$C_{m,ser} = C_{mo} \cdot n_{ser} = 0,25 \cdot 100\,000 = 25\,000 \text{ [kn]}$$

### **7.3. Određivanje cijene ubrizgavalice za jedan otpresak**

Trošak ubrizgavalice za jedan otpresak:

$$C_{so} = \left( \frac{t_c}{n_{kš} \cdot \mu_p} + \frac{t_{pz} + G_{OR}}{n_{serPS}} \right) \cdot C_{ru}$$

gdje su:  $C_{so}$  - trošak ubrizgavalice za jedan otpresak,  $\mu_p$  - iskoristivost postupka,  $t_{pz}$  - pripremno – završno vrijeme,  $n_{ser}$  - veličina serije,  $G_{OR}$  - organizacijski gubici,  $C_{ru}$  - cijena radnog sata ubrizgavalice.

$$C_{so} = \left( \frac{4,2/3600}{2 \cdot 0,98} + \frac{2 + 1,5}{100\,000} \right) \cdot 60 = 0,038 \text{ kn/otpresak}$$

### **7.4. Troškovi radne snage za jedan otpresak**

Trošak rada za jedan otpresak računa se prema sljedećem izrazu:

$$C_{ro} = \frac{t_c}{n_{kš} \cdot \mu_p} \cdot C_{rs} \cdot n_r = \frac{4,2}{2 \cdot 0,98} \cdot 50 \cdot 1 = 0,03 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{otpresak}} \right]$$

Trošak rada za cijelu seriju:

$$C_{r,pr} = C_{ro} \cdot n_{ser} = 0,03 \cdot 100\,000 = 3000 \text{ [kn]}$$

### **7.5. Određivanje cijene koštanja otpreska**

$$C_o = \frac{C_K}{n_o} + C_{mo} + C_{so} + C_{ro}$$

$$C_o = \frac{93\,800}{500\,000} + 0,25 + 0,04 + 0,03 = 0,58 \left[ \frac{\text{kn}}{\text{otpresak}} \right]$$

## 8. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme su sve veći zahtjevi za kvalitetom, brzinom i ekonomičnosti pri razvoju i proizvodnji polimernih proizvoda. Suvremenim pristupom i konceptom razvoja kalupa moguće je razviti otpresak i kalup koji odgovara na sve zahtjeve koji su nam potrebni.

U prvom dijelu rada su opisana pravila konstruiranja i razvoja otpreska te elementi kalupa za injekcijsko prešanje. Nakon toga metodičkim pristupom konstruiranja kalupa i dijagramima odlučivanja konstruiran je kalup za zadani otpresak, te su izvršeni reološki, toplinski i mehanički proračuni. Konceptno oblikovanje se provodilo u CATIA V5R20 računalnom programu u kombinaciji sa standardnim dijelovima iz HASCO kataloga. Simulacije su dobivene računalnim programom *Moldflow Adviser* kojim se provjerila tehničnost otpreska. Uz sve te mehanizme i alate kod razvoja proizvoda i kalupa za injekcijsko prešanje zbog složenosti razvoja moguće su pogreške, ali odgovornim pristupom i pridržavanjem načela razvoja i konstruiranjem uz iskustvo moguće je greške svesti na minimum.

Kalup je izveden sa vrućim uljevnim sustavom i spiralnim hlađenjem jezgre radi eliminacije škarta i što kraćeg vremena ciklusa injekcijskog prešanja zbog velike proizvodne serije od 100 000 komada. Na kraju za tu proizvodnu seriju je napravljen proračun nepotpune cijene koštanja zadanog otpreska koja je prihvatljiva s obzirom na veličinu serije iako je cijena samog kalupa poprilično visoka.

## 9. LITERATURA

- [1] Raos, P., Čatić, I.: *Razvoj injekcijski prešanih polimernih tvorevina*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1992.
- [2] Hršak, N.: *Razvoj plastomernog poklopca i odgovarajućeg kalupa za injekcijsko prešanje*, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogranje, Zagreb, 2011.
- [3] Rujnić-Sokele, M.: *Plastična ambalaža*, podloge za predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [4] Šercer, M.: *Proizvodnja gumenih tvorevina*, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 1999.
- [5] Internet - [http://www.rutlandplastics.co.uk/moulding\\_machine.shtml](http://www.rutlandplastics.co.uk/moulding_machine.shtml) 15.1.2014.
- [6] Rogić, A., Čatić, I.: *Injekcijsko prešanje polimera*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1996.
- [7] Internet- <http://www.chinamoldmaker.org/china-injection-molding-manufacturer.html> 1.7.2015.
- [8] Godec, D.: *Doprinos sustavnom razvoju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera*, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [9] Internet- <http://sunrisehotrunner.com/mainfold.html> , 1.7.2015.
- [10] Internet-[http://www.bhavikenterprises.com/PDF/BH345MO\\_DATASHEET.pdf](http://www.bhavikenterprises.com/PDF/BH345MO_DATASHEET.pdf)-2.7.2015
- [11] Vulinović, A.: *Metodičko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje postolja tabletnog računala*, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogranje, Zagreb, 2015.
- [12] Internet-<http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/victory.html> 2.7.2015.
- [13] Čatić, i.: *Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
- [14] Kulcsar, I.: *Konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje poklopca kućišta električnog sklopa*, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogranje, Zagreb, 2012.
- [15] Internet- <http://www.hasco.com/de/Service-Downloads/Tipps-Tricks/Digitaler-Katalog-Werkzeugaufbau-Assistent> 2.7.2015.

## **10.PRILOZI**

I. Karakteristike ubrizgavalice

II. Prikaz 3D modela kalupa, nacrt otpreska i sklopni crtež kalupa

III. CD-R disc



# **Technische Daten / Technical data** Schließ- und Spritzaggregate sind variabel kombinierbar. Clamping and Injection units can be combined variably.

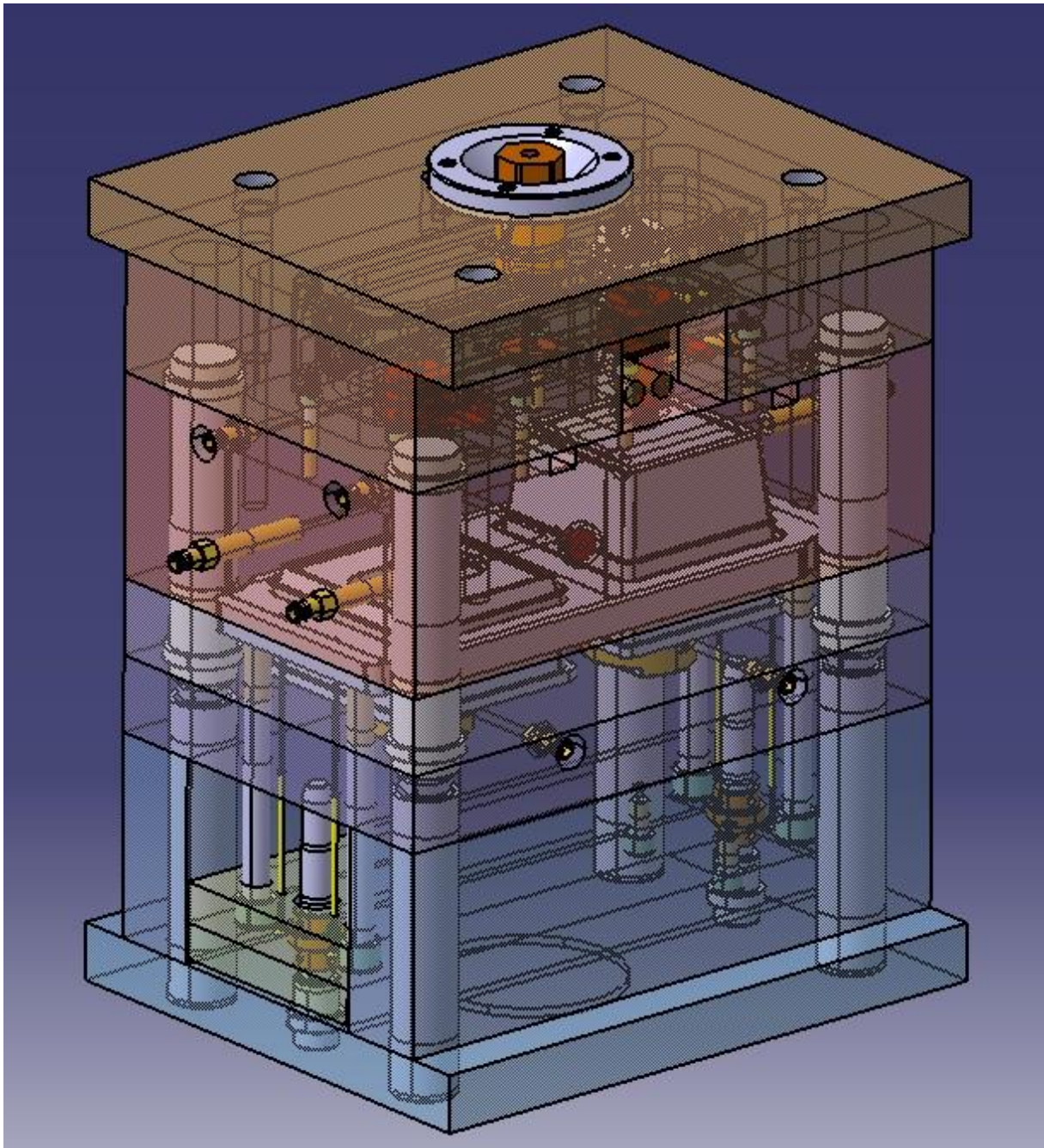
**victory**

Größen von 280 kN bis 1100 kN  
Sizes from 280 kN to 1100 kN



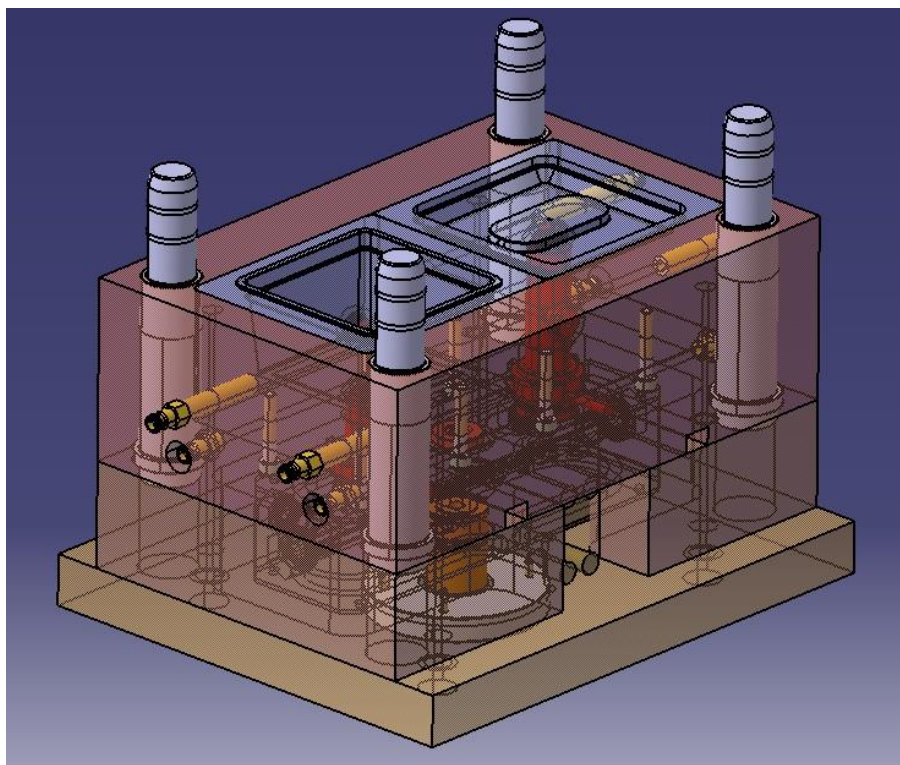
Internationaler Größenbezeichnung <sup>1</sup>	Internal size designation <sup>1</sup>	280-30	400-80	600-50	600-80	700-200	800-200	900-330	1100-500
Maschinenbezeichnungen	Machine designations	VC 80/28	VC 80/40	VC 200/50	VC 80/60	VC 200/70	VC 200/80	VC 330/90	VC 500/110
<b>Spritzinheit</b>	<b>Injection unit</b>	80	80	200	80	200	200	330	600
Connekt enduroconnekt	Screw diameter	18/22/25	18/22/25	25/30/35	18/22/25	25/30/35	25/30/35	30/35/40	35/40/45
Declerweg	Screw stroke	100	100	140	100	140	140	160	200
Max. Hubvolumen	Max. injection capacity	25/38/49	25/38/49	69/99/135	25/38/49	69/99/135	69/99/135	113/154/201	192/251/318
Schneeförderanzahl	Screw speed	450/360/360	450/360/360	480	450/360/360	480	480	400/400/320	400/400/320
L/D Connektlänge (3-Zonen)	L/D ratio (3-zone screw)	22,5/18,7/16,4	22,5/18,7/16,4	24,8/20,5/17,3	22,5/18,7/16,4	24,8/20,5/17,3	24,8/20,5/17,3	23,6/20/17,5	20
Plattförmigeinjektion (3-Zonen)	Recovery rate (3-zone screw) <sup>2, 3, 4</sup>	3,2/5,8/7,4	3,2/5,8/7,4	12/17/24	3,2/5,8/7,4	12/17/24	12/17/24	14/21/25	21/32/34
L/D Connektlänge (Barriere) <sup>5</sup>	L/D ratio (barrier screw) <sup>5</sup>			24,8/20,5/-		24,8/20,5/-		23,6/20/-	24
Plattförmigeinjektion Barriere <sup>5</sup>	Recovery rate (barrier screw) <sup>5</sup>			14/20/-		14/20/-		21/26/-	31/44/47
Einpritzstrom <sup>6</sup>	Injection rate (regenerative) <sup>6</sup>	52/78/100	52/78/100	104/150/204	52/78/100	104/150/204	104/150/204	111/151/198	151/198/250
Spez. Spritzdruck	Injection pressure (regenerative)	2200/1590/1230	2200/1590/1230	2090/1450/1065	2200/1590/1230	2090/1450/1065	2090/1450/1065	2180/1600/1235	1700/1300/1030
Spez. Spritzdruck enorm	Injection pressure (max)	2200/2060/1600	2200/2060/1600	2400/2210/1620	2200/2060/1600	2400/2210/1620	2400/2210/1620	2400/2175/1670	2390/2020/1595
Düsenweg • Düsenanpresskraft	Nozzle stroke • Nozzle cont. pressure	230 - 28	230 - 28	230 - 28	230 - 28	230 - 28	230 - 28	300 - 49	300 - 52
Heizleistung <sup>7</sup>	Heating wattage <sup>7</sup>	5,3	5,3	6,8	5,3	6,8	6,8	9,2	9,2/9,2/12,2
Arztahl-Heizzone inkl. Düse <sup>7</sup>	Heating zones incl. nozzle <sup>7</sup>	4	4	4	4	4	4	4	4/4/5
<b>Schließeinheit</b>	<b>Clamping unit</b>	VC 28	VC 40	VC 60	VC 60	VC 70	VC 80	VC 80	VC 110
Schließkraft	Clamping force	280	400	500	600	700	800	900	1100
Öffnungsweg	Opening stroke	400	400	400	450	450	450	500	500
Werkzeugenbohrtiefe min-max.	mold height min-max	150	200	200	250	250	250	300	300
Plattenabstand max.	Total daylight max.	550	600	600	700	700	700	800	800
Aufspannplatten Standard huc. x vert.	Platen size standard huc. x vert.	500 x 450	500 x 450	500 x 450	670 x 600	670 x 600	670 x 600	740 x 680	740 x 680
Aufspannplatten (vergr. Mode pattern) h x v	Enlarged platen (Wide platen) h x v				720 x 600	720 x 600	730 x 600	790 x 680	790 x 680
Leichter Homabstand hor. x vert.	Dist. between tie bars hor. x vert.								
Ausfallschnecke	Drop out chute width	400	400	400	450	450	450	500	500
Werkzeuggewicht max. 8	Mold weight max. 8	450	450	450	675	675	675	825	825
Anzahl der Werkzeugführer	Number of mold cooling circuits	4 x 10	4 x 10	4 x 10	4 x 10	4 x 10	4 x 10	4 x 10	4 x 10
Auswerfweg • Auswerfkraft	Ejector stroke • Ejector force	100 - 40	100 - 40	100 - 40	100 - 40	100 - 40	100 - 40	130 - 40	130 - 40
Trockenlauf (Europap 6) • Hub	Dry cycle (Europap 6) • stroke	1,6 - 150	1,6 - 150	1,6 - 150	1,5 - 150	1,5 - 150	1,5 - 150	1,6 - 200	1,6 - 200
<b>Antrieb</b>	<b>Drive</b>								
Pumpenartbeschaltung	Rated drive power	7,5	7,5	15	15	15	15	15	18,5
Ölfüllung	Oil reservoir capacity	135	135	135	170	170	170	300	300
<b>Gewicht und Abmessungen</b>	<b>Weight and dimensions</b>								
Netto Schließ-/Spritzeinheit (ohne Öl)	Net clamp/injec. unit (without oil)								
Länge x Breite x Höhe	Length x width x height	2,9	2,9	2,9	5,1	5,2	5,2	7,3	7,4
ENIGEL Robot	ENIGEL Robot	3,4 x 1,3 x 1,8	3,4 x 1,3 x 1,8	3,4 x 1,3 x 1,8	4,0 x 1,4 x 2,0	4,0 x 1,4 x 2,0	4,0 x 1,4 x 2,0	4,4 x 1,5 x 2,0	4,9 x 1,5 x 2,0
<sup>1</sup> Schließkraft Rm - max. Schließdruck Ismi x spez. Spritzdruck erhöht. Bar/1000 Ismi x spez. Spritzdruck erhöht. Bar/1000 nach ETR 10100	<sup>1</sup> Clamping force Rm - max. Schließdruck Injection pressure max. Bar/1000 Ismi x spez. Spritzdruck erhöht. Bar/1000 nach ETR 10100								
<sup>2</sup> Werte für HDPE ab Spritzinheit 3550 nach ETR 10100	<sup>2</sup> Werte für HDPE from Injection unit 3550 onward acc. ETR 10100								
<sup>3</sup> Werte für PP bei IM-Maschinen nach ETR ETR 10100	<sup>3</sup> Data for PP bei IM-Maschinen nach ETR acc. ETR 10100								
<sup>4</sup> Werte für HDPE nach ETR 10100	<sup>4</sup> Data for HDPE from Iaconet machines acc. ETR 10100								
<sup>5</sup> Theoretische Werte	<sup>5</sup> Theoretical values								
<sup>6</sup> Für 3-Zonen-Schnecke	<sup>6</sup> For 3-zone screw length								
<sup>7</sup> davon max. 2/3 auf der beweglichen Platte, Berechnung des Schwerpunktabstandes auf beweglicher Platte siehe Seite 34	<sup>7</sup> of which max. 2/3 on the moving platen, determination of the distance of the center of gravity with respect to the moving platen see Seite 34								
Option	Option								

Karakteristike ubrizgavalice

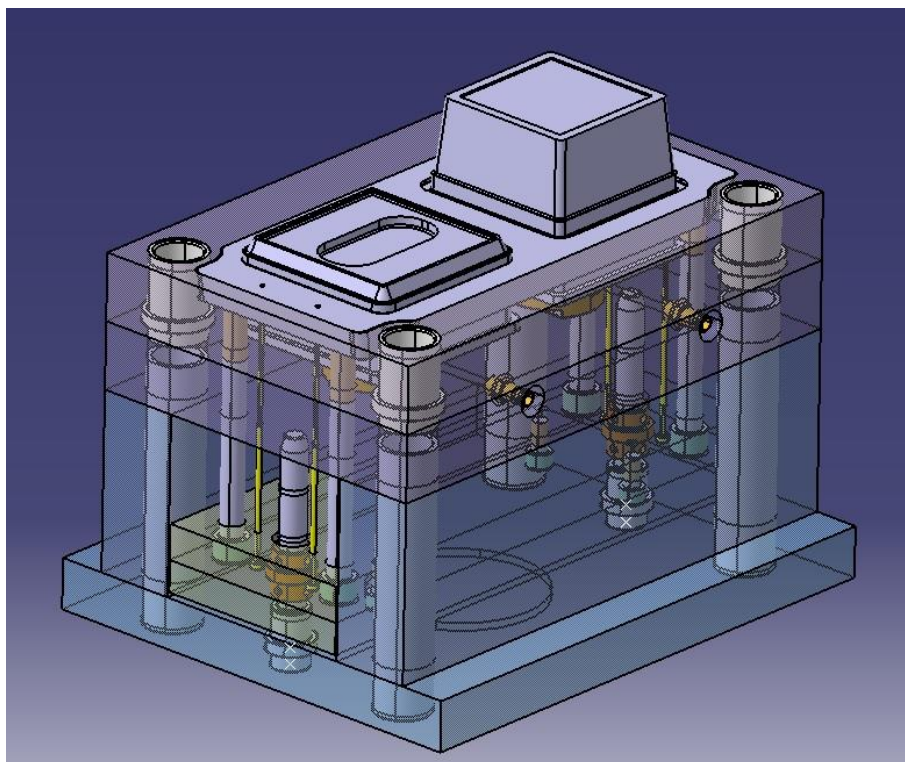


3D model kalupa

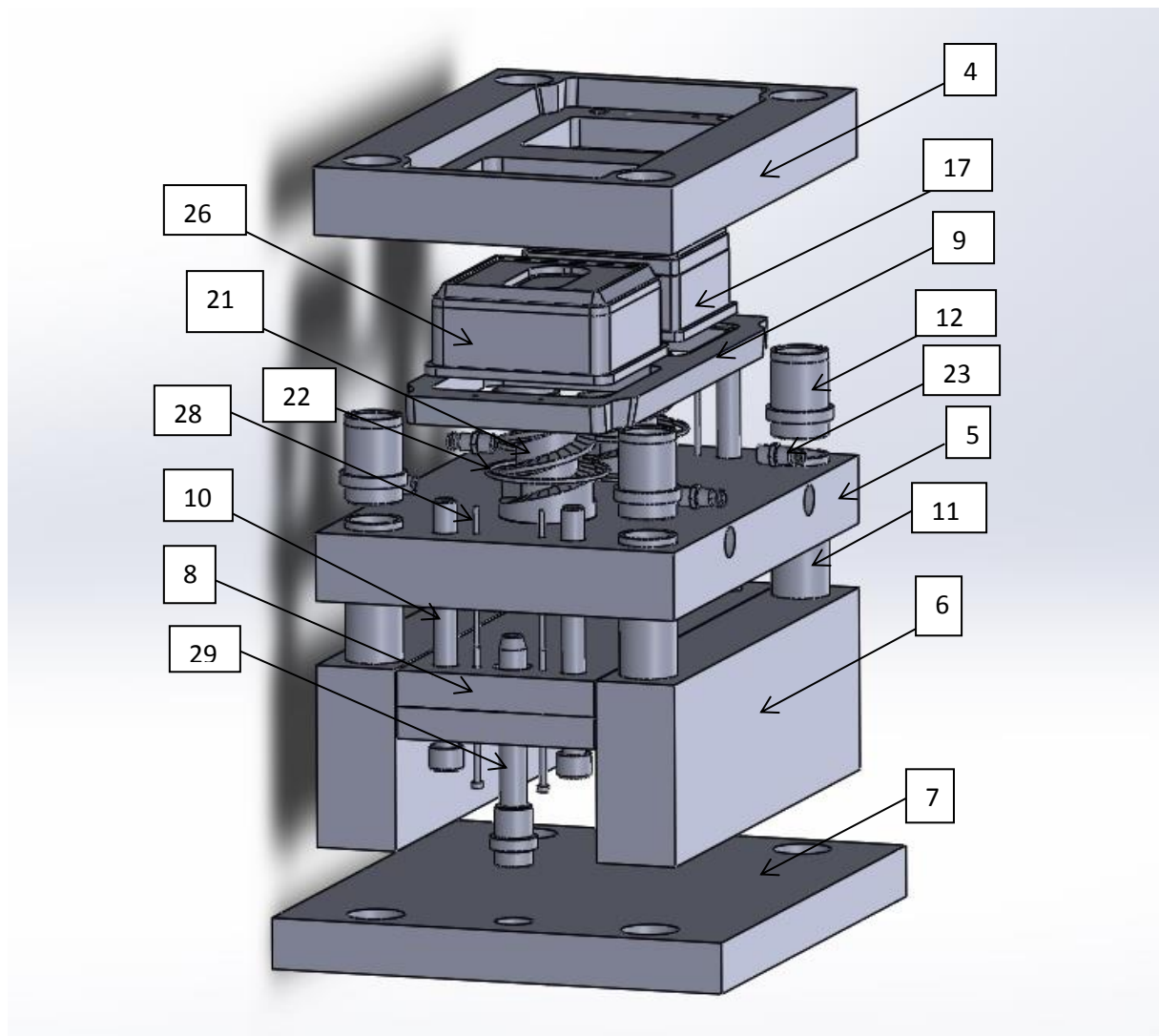


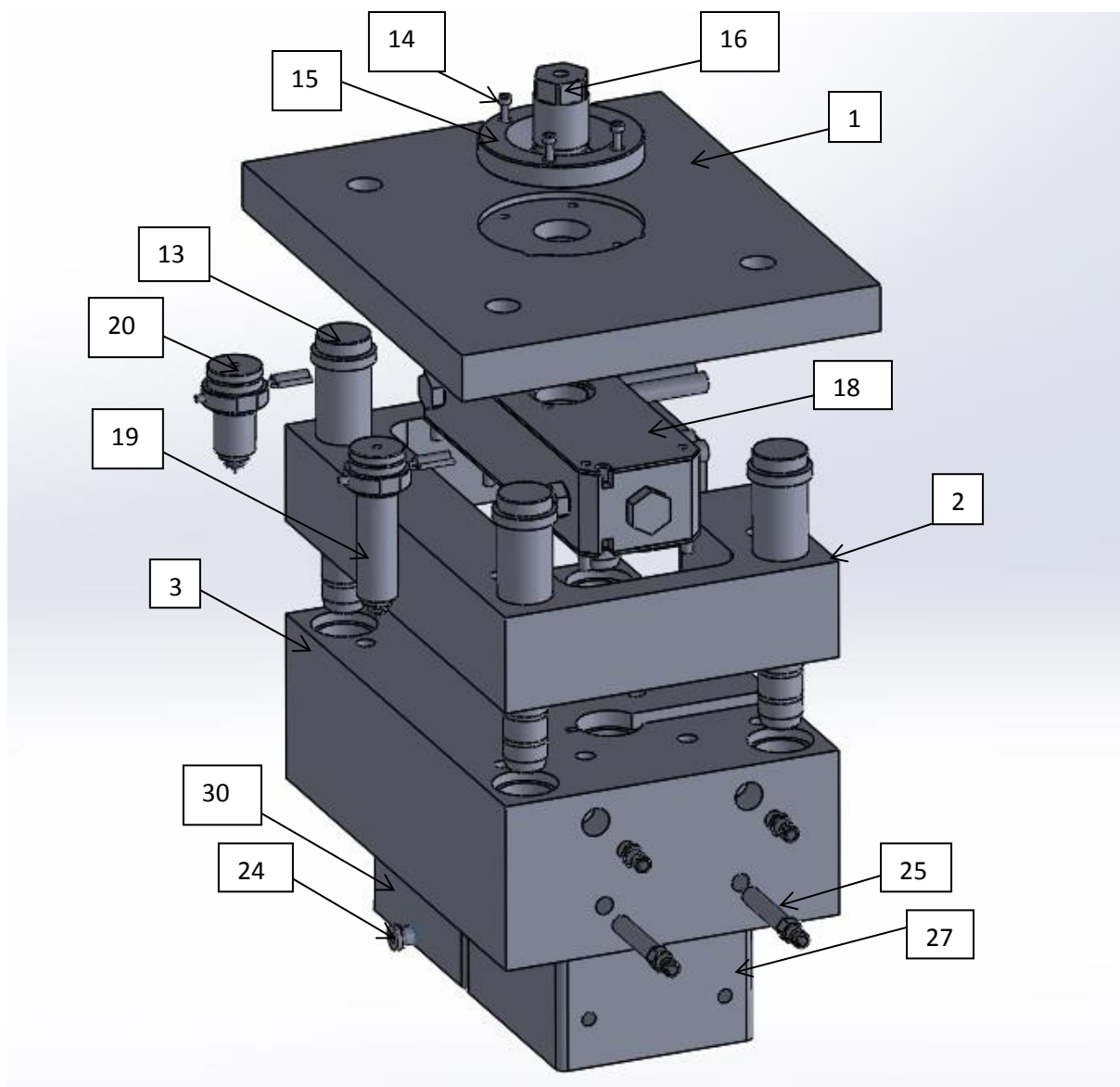


Nepomični dio kalupa



Pomični dio kalupa





Redni broj	Naziv standardnog/ nestandardnog elementa	Standard Hasco/ nestandardni
1	Nepomična stezna ploča	K10/196x296x27/1.1730
2	Odstojna letva	K30/196x296x56/1.1730
3	Nepomična kalupna ploča	K20/196x296x96/1.1730
4	Pomična kalupna ploča	K20/196x296x36/1.1730
5	Pomična kalupna ploča	K30/196x296x36/1.1730
6	Odstojan letva	K40/196x296x96/1.1730
7	Pomična stezna ploča	K10/196x296x27/1.1730
8	Ploča izbacivala/ potisna ploča	K60/70/196x296x12/17
9	Ploča izbacivalo	Nestandardni dio
10	Vijak	Z30/12x130
11	Centrirna puškica	Z20/30x140
12	Vodeća puškica	Z10/36/24
13	Vodeći stup	Z00/96/24x55
14	Vijak	Z31/12x16
15	Prsten za centriranje	K100/90x13
16	Grijač	Z1055_1_30x56_8
17	Žig posuda	Nestandardni dio
18	Vrući razdjelni blok	H106_1_71x224_46
19	Vruća mlaznica	Z3410_32x100
20	Vruća mlaznica	Z3410_32x63
21	Spirala za hlađenje	Z961_50x125
22	Gumica	Z98_59_3
23	Priključak za temperiranje	Z81_9_10x1
24	Čep za temperiranje	Z941_10x1
25	Priključak za temperiranje	Z90x9x120
26	Žig poklopac	Nestandardni dio
27	Matrica poklopac	Nestandardni dio
28	Povratnik	Z441_2_5x160
29	Vodeći stup	Z00/22/14x90
30	Matrica posuda	Nestandardni dio

